

SISTEMAS DE UNIDADES, FACTORES DE CONVERSION E INFORMACION TECNICA

Introducción	231	Potencia	246
Aritmética Básica	231	Viscosidad	246
Redondeo de Números	232	Entalpía y Entalpía Específica	247
Sistemas de Unidades	232	Entropía y Entropía Específica	247
Abreviaturas y Símbolos de Unidades	234	Transferencia de Calor	247
Temperatura	235	Calor Específico (Capacidad Calorífica)	248
Escalas de Temperatura Fahrenheit y Celsius	236	Equivalentes de Refrigeración	249
Escalas de Temperatura Absolutas, Kelvin y Rankine	236	Propiedades y Datos de Almacenamiento para Productos Perecederos	249
Presión	237	Condiciones de Almacenamiento para Flores y Plantas de Vivero	254
Factores de Conversión	238	Información Técnica	255
Longitud	238	Procesos de Soldadura Capilar para Tuberías de Cobre Rígido	257
Área	239	Diámetros Nominal, Exterior e Interior	257
Volumen y Capacidad (Líquido)	240	Conexiones Soldables	257
Masa	241	Proceso de Soldadura Capilar	257
Caudal (Flujo)	242	Tipos de Soldadura	257
Velocidad Lineal	242	Fundente	258
Aceleración Lineal	243	El Soplete	258
Fuerza	243	Proceso para Soldar	259
Volumen Específico (Masa Volumétrica)	244		
Densidad o Peso Específico	245		
Trabajo, Energía y Calor	245		

Introducción

En toda actividad realizada por el ser humano, hay la necesidad de medir "algo"; ya sea el tiempo, distancia, velocidad, temperatura, volumen, ángulos, potencia, etc.

Todo lo que sea medible, requiere de alguna unidad con qué medirlo, ya que la gente necesita saber qué tan lejos, qué tan rápido, qué cantidad, cuánto pesa, etc., en términos que se entiendan, que sean reconocibles, y que se esté de acuerdo con ellos.

Para esto, fue necesario crear unidades de medición, las cuales en la antigüedad eran muy rudimentarias (codos, leguas, barriles, varas, etc.), y variaban de una región a otra. Algunas de estas unidades aún se siguen usando y conservando su nombre original.

En los últimos tres siglos de la historia de la humanidad, las ciencias han tenido su mayor desarrollo, y éste ha sido más vertiginoso de finales del siglo XIX a la fecha. Las unidades de medición tenían bases más científicas, y para efectuar cálculos matemáticos, hubo necesidad de agruparlas. Así se originaron los sistemas de unidades. Era (y sigue siendo) común, que a las unidades se les diera el nombre del científico que las descubría o inventaba.

Para evitar variaciones en el valor o magnitud de una unidad de un lugar a otro o de un tiempo a otro, fue necesario fijar patrones o puntos de referencia, para que basándose en dichos criterios, la unidad tuviera el mismo valor en cualquier lugar que se utilizara. Conforme ha avanzado el tiempo, algunos puntos de referencia de

algunas unidades han cambiado (pero no la unidad), siempre tratando de buscar más precisión. Por ejemplo, la unidad de longitud del Sistema Métrico Decimal, el metro (m.), originalmente se definía como la diezmillonésima parte de la longitud del cuadrante del meridiano del polo norte al ecuador, que pasa por París. Sin embargo, posteriormente se definió como la distancia entre dos marcas, hechas en una barra metálica de una aleación de platino e iridio, mantenida a una temperatura de 0°C, graduada en el museo de Sèvres en Francia. Actualmente, la longitud de un metro se define, de una manera más precisa e invariable que antes, como igual a 1'650,763.73 longitudes de onda en el vacío del kriptón 86, excitado eléctricamente.

Aritmética Básica

Como ya sabemos, las operaciones aritméticas básicas se representan por los símbolos siguientes:

- + más o suma. Ejemplo: $2 + 5 = 7$.
- = igual a o mismo valor.
- menos o resta. Ejemplo: $6 - 4 = 2$.
- x multiplicación. Ejemplo: $2 \times 4 = 8$.
- ÷ división. Ejemplo: $6 \div 2 = 3$.
- multiplicación. Ejemplo: $2 \cdot 4 = 8$.
- () paréntesis; las operaciones dentro de paréntesis se hacen primero. Ejemplo: $(7-2) + 4 = 5 + 4 = 9$.

- (²) cuadrado; significa que el número dentro del paréntesis, se debe multiplicar por sí mismo (elevar al cuadrado). Se puede hacer sin paréntesis. Ejemplo: $(3)^2 = 3^2 = 3 \times 3 = 9$.
- (³) cubo; significa que el número dentro del paréntesis, se debe multiplicar dos veces por sí mismo (elevar al cubo). Se puede hacer sin paréntesis. Ejemplo: $(3)^3 = 3^3 = 3 \times 3 \times 3 = 27$.
- a/b significa una división; el número de arriba "a" se va a dividir entre el número de abajo "b". Ejemplo: Si "a" = 8 y "b" = 2, $a/b = 8/2 = 8 \div 2 = 4$.
- Δ (delta), significa una diferencia. Ejemplo: ΔT = diferencia de temperaturas.

La mayoría de los cálculos incluyen el uso de unidades básicas. Estas se expresan en dígitos. En la relación $9 \times 3 = 27$, 9 y 3 son dígitos y 27 está formado por dos dígitos, 2 y 7. En la mayoría de los sistemas de unidades, como el métrico, la unidad básica es 1 y los dígitos múltiplos (mayores de la unidad) y sub múltiplos (menores de la unidad), están sobre la base de 10 (decimal). Por ejemplo, si el dígito 1 lo multiplicamos por 10, será 10; cada multiplicación subsecuente por 10 será 100; 1,000; 10,000; 100,000 y así sucesivamente. Si la unidad se divide entre 10, será 0.1 y cada división subsecuente será 0.01; 0.001; 0.0001 y así sucesivamente.

Cada nivel de multiplicación o división tiene un nombre; por ejemplo los múltiplos de la unidad:

<u>símb.</u>	<u>prefijo</u>	<u>cantidad</u>	<u>ejemplo</u>
D	= deca	= 10	Decámetro
H	= hecta	= 100	Hectólitro
K	= kilo	= 1,000	Kilogramo
M	= mega	= 1'000,000	Mega ohm
G	= giga	= 1,000,000,000	Gigabyte
T	= tera	= 1,000,000,000,000	

Y los submúltiplos de la unidad:

d	= deci	= 0.1	decímetro
c	= centi	= 0.01	centígrado
M	= mili	= 0.001	mililitro
μ	= micro	= 0.000001	micrón
n	= nano	= 0.000000001	nanofaradio
p	= pico	= 0.000000000001	

En algunos cálculos, es difícil trabajar con cantidades que utilizan muchos ceros, ya sea a la derecha o a la izquierda del punto decimal. En estos casos se puede emplear un número especial llamado "potencia de diez" para expresar estos tipos de cantidades.

"Potencia de diez", significa que el número 10 se multiplica por sí mismo, el número deseado de veces para obtener el número de ceros requeridos. El número de veces que 10 se debe de multiplicar por sí mismo, se muestra por un pequeño número arriba y a la derecha del número 10. Este número también se llama "exponente", y se utiliza como se muestra a continuación:

Para números mayores que la unidad:

- $10^1 = 10$ ó (10)
 - $10^2 = 100$ ó (10 x 10)
 - $10^3 = 1000$ ó (10 x 10 x 10)
 - $10^6 = 1'000,000$ ó (10 x 10 x 10 x 10 x 10 x 10) etc.
- Así por ejemplo, para indicar 540,000 se puede expresar 5.4×10^5 .

Para números menores que uno:

- $10^{-1} = 0.1$ ó (0.10)
- $10^{-2} = 0.01$ ó (0.10 x 0.10)
- $10^{-3} = 0.001$ ó (0.10 x 0.10 x 0.10)
- $10^{-6} = 0.000001$ ó (0.10 x 0.10 x 0.10 x 0.10 x 0.10 x 0.10) etc...

Así por ejemplo, para indicar 0.00072 se puede expresar 7.2×10^{-4} .

Redondeo de Números

En cálculos de refrigeración, no es frecuente el uso de fracciones (o decimales) de la unidad, sobre todo cuando no se requiere tanta precisión. En estos casos, cuando el decimal es menor de cinco, se redondea el número ignorando la fracción decimal. Cuando la fracción es 5 o mayor, se redondea al siguiente número más grande. Por ejemplo: 27.3 se redondea a 27 y 27.5 a 28.

Sistemas de Unidades

Desde que el científico inglés ISAAC NEWTON (1642-1727) estableció el trascendental enunciado de que sobre la tierra y en su vecindad inmediata, la aceleración de un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza resultante que actúa sobre el mismo, e inversamente proporcional a su masa ($a = F/m$), desde entonces, los sistemas de unidades han sido basados en esto.

Antes de este enunciado, las unidades no estaban agrupadas. Las unidades de longitud eran el metro, el pie y sus múltiplos y submúltiplos; las unidades de tiempo son el segundo, minuto, hora, día, etc. No existían los sistemas de unidades bien definidos como los conocemos ahora. Analizando la ecuación de la segunda ley de Newton, podemos expresarla también como $F = ma$, y así, podemos decir que una unidad de fuerza (F) es producida por una unidad de aceleración (a), sobre un cuerpo que tiene una masa (m) de una unidad. Esto es muy simple aunque suene complicado; pero, ¿cómo denominaremos a esas unidades de aceleración, de masa y de fuerza? Primeramente, definiremos un sistema de unidades como sistema de unidades compatibles y de proporción constante, con la segunda ley de Newton.

Partiendo de esta definición, un sistema de unidades debe tener unidades compatibles con la masa y la fuerza. Así, si medimos la masa en kilogramos y la aceleración en m/seg^2 , entonces la fuerza tendrá las siguientes unidades:

$$F = ma = \text{kg} \times \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} = \text{Newton (N)}$$

Si utilizamos unidades inglesas:

$$F = ma = \text{lb} \times \frac{\text{pie}}{\text{seg}^2} = \text{poundal}$$

Las unidades de la fuerza son, pues, una combinación de las unidades fundamentales, y como se puede observar, deben ser compatibles; no se combinan kilogramos con pies, ni libras con metros. Así pues, se formaron los primeros sistemas de unidades. Curiosamente, a la unidad de fuerza en el sistema métrico se le llamó Newton, en honor a este científico inglés, y la unidad de fuerza en el sistema inglés se llama poundal.

Sistema Inglés - Es el sistema que tiene como base el pie (ft), la libra (lb) y el segundo (seg). El sistema inglés no es un sistema decimal como el métrico, sino que sus unidades están basadas en múltiplos y submúltiplos de 8 y de 12. Ejemplo: 1 pie = 12 pulgadas; 1 yarda = 3 pies = 36 pulgadas; 1 galón = 4 cuartos = 8 pintas; 1 libra = 16 onzas; etc. Se originó en Inglaterra, y actualmente se usa en algunos países en los que se impuso, por ser estos conquistados o colonizados por los ingleses. Aunque estos países son una minoría, tiene una difusión grande y una fuerte influencia, sobre todo en Asia y en América. En el caso particular de nuestro país, donde el sistema oficial es el Métrico Decimal, existe una gran influencia del sistema inglés por la cercanía con Estados Unidos, donde se usa el sistema inglés. Esta influencia se debe principalmente a la importación de tecnología y literatura.

Este sistema tiende a desaparecer, ya que se creó un sistema de unidades basado en el sistema métrico, y que se pretende que sea el único que se use en el mundo (ver Sistema Internacional). En Estados Unidos se adoptó desde hace unos 20 años, pero el proceso de cambio obviamente se va a llevar algunos años más.

CANTIDAD O "DIMENSION"	UNIDAD	SIMBOLO
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Corriente eléctrica	ampere	A
Temperatura	kelvin*	K
Cantidad de sustancia	mol	mol
Intensidad luminosa	candela	cd
Angulo plano	radian	rd
Angulo sólido	steradian	sr

* Aunque el grado Kelvin es la unidad de temperatura absoluta oficial en el SI, se permite el uso de grados centígrados o Celsius (°C). $K = °C + 273.15$.

Tabla 15.1 - Unidades básicas del Sistema Internacional.

Otras unidades del sistema inglés son: °F, btu, hp, el galón, psi, etc. y los múltiplos y submúltiplos de:

pie: milla, rod, fathom, yarda y pulgada.

libra: tonelada, onza y grano.

galón: bushel, peck, cuarto, pinta, gill, onza, dram, y minim.

Sistema Métrico Decimal - Tiene como unidades básicas el kilogramo (kg), el metro (m) y el segundo (seg). Al sistema métrico se le llama decimal, porque algunas unidades son en base del 10, como el metro y el kilogramo. Hasta hace poco, era el sistema de unidades más ampliamente utilizado en todo el mundo, incluyendo nuestro país, donde era el sistema de unidades oficial. Decimos que "era", porque también se tiene que adoptar el Sistema Internacional, como ya lo han hecho muchos otros países. Ya que se tiene que hacer este cambio, las otras unidades del sistema métrico se mencionarán en el sistema internacional, ya que algunas son las mismas y otras son muy parecidas, puesto que son derivadas de las mismas unidades básicas.

Sistema Internacional (SI) - Le Système International d'Unités, es un sistema de unidades que se pretende se utilice en todos los países del mundo, para uniformar los conceptos y que desde el punto de vista técnico, se hable el mismo lenguaje.

En la actualidad, en casi todos los países europeos es obligatorio el uso del SI, pero todavía faltan muchos países por adoptarlo.

Las unidades básicas en el SI son el metro (m), el kilogramo (kg) y el segundo (s), entre otras.

CANTIDAD	UNIDAD	SIMBOL	FORMUL
Frecuencia	Hertz	Hz	1/s
Fuerza	Newton	N	kg·m/s ²
Presión (esfuerzo)	Pascal	Pa	N/m ²
Energía, trabajo, calor	Joule	J	N·m
Potencia	Watt	W	J/s
Carga eléctrica	Coulomb	C	A·s
Potencial eléctrico (fem)	Volt	V	W/A
Capacitancia	Farad	F	C/V
Resistencia eléctrica	Ohm	Ω	V/A
Conductancia	Siemens	S	A/V
Flujo magnético	Weber	Wb	V·s
Densidad del flujo mag.	Tesla	T	Wb/m ²
Inductancia	Henry	H	Wb/A
Flujo luminoso	Lumen	lm	cd·sr
Iluminancia	Lux	lx	lm/m ²

Tabla 15.2a - Unidades derivadas del SI las cuales tienen nombres especiales.

En las tablas 15.1, 15.2a y 15.2b, se presenta una lista completa de las unidades del SI. En las demás tablas, se muestran los factores de conversión de las unidades del sistema inglés y del sistema métrico "antiguo" al Sistema Internacional y viceversa.

CANTIDAD	UNIDAD	SIMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD	SIMBOLO
Aceleración lineal	metro por segundo cuadrado	m/s ²	Permeabilidad	henry por metro	H/m
Aceleración angular	radián por segundo cuadrado	rad/s ²	Energía específica	joule por kilogramo	J/kg
Area	metro cuadrado	m ²	Entropía específica	joule por kilogramo - kelvin	J/kg-K
Concentración	mol por metro cúbico	mol/m ³	Volúmen específico	metro cúbico por kilogramo	m ³ /kg
Densidad de corriente	ampere por metro cuadrado	A/m ²	Tensión superficial	newton por metro	N/m
Densidad, masa	kilogramo por metro cúbico	kg/m ³	Conductividad térmica	watt por metro - kelvin	W/m-K
Densidad de carga eléctrica	coulomb por metro cúbico	C/m ³	Velocidad lineal	metro por segundo	m/s
Densidad de flujo eléctrico	coulomb por metro cuadrado	C/m ²	Velocidad angular	radián por segundo	rad/s
Entropía	joule por kelvin	J/K	Viscosidad dinámica	pascal - segundo	Pa-s
Capacidad calorífica	joule por kelvin	J/K	Viscosidad cinemática	metro cuadrado por segundo	m ² /s
Fuerza de campo magnético	ampere por metro	A/m	Volúmen	metro cúbico	m ³
Momento de fuerza	newton - metro	N-m	Capacidad calorífica específica	joule por kilogramo - kelvin	J/kg-K

Tabla 15.2b - Unidades comunes derivadas del SI.

Abreviaturas y Símbolos de Unidades

A continuación se listan en orden alfabético, las abreviaturas y símbolos de las unidades del sistema métrico y del sistema inglés; ya que las del Sistema Internacional de Unidades (SI), son las que se indican en las tablas 15.1, 15.2a y 15.2b.

atm	atmósfera	hp	horse power	lb/in ²	libras por pulgada cuadrada
brit	británico	in	pulgada (inch)	m	metros
btu	british thermal unit	in ²	pulgada cuadrada	mi	millas
btu/ft ³	btu por pie cúbico	in ³	pulgada cúbica	mi/h	millas por hora
btu/lb	btu por libra	in Hg	pulgadas de mercurio	mi/min	millas por minuto
°C	grado Celsius (centígrado)	in ³ /lb	pulgadas cúbicas por libra	mi naut	milla náutica
cal	caloría	kcal	kilocaloría	min	minutos
cc	centímetros cúbicos = cm ³ =ml	kcal/kg	kilocaloría por kilogramo	ml	mililitro =cc = cm ³ (de líquido)
cm	centímetro	kcal/m ³	kilocaloría por metro cúbico	mm	milímetros
cm ²	centímetro cuadrado	kg	kilogramo	mm Hg	milímetros de mercurio
cm ³	centímetro cúbico	kg/cm ²	kilogramo por centímetro cuadrado	m ³ /s	metros cúbicos por segundo
cm ³ /g	centímetros cúbicos por gramo	kg/h	kilogramo por hora	oz	onza (avoirdupois)
cSt	centiStoke	kg f	kilogramo fuerza	oz t	onza troy
cv	caballo de vapor (métrico)	kg/m ²	kilogramo por metro cuadrado	psi	libras por pulgada cuadrada
d gal	galón seco	kg/m ³	kilogramo por metro cúbico	psia	libras por pulg ² absoluta
dm	decímetro	kg/s	kilogramos por segundo	psig	libras por pulg ² manométrica
°F	grado fahrenheit	km	kilometros	qt	cuarto (de galón)
ft	pies (feet)	km ²	kilometros cuadrados	s	segundo
ft ²	pies cuadrados	km/h	kilometros por hora	St	Stoke
ft ³	pies cúbicos	l	litros	ton	tonelada
ft ³ /lb	pies cúbicos por libra	l/kg	litros por kilogramo	Torr	Torricelli = mm Hg
g	gramo	l/min	litros por minutos	T.R.	ton de refrigeración standard comercial
gal	galón	lb	libras	U.S.A	estadounidense

Tabla 15.3 - Abreviaturas y símbolos.

Temperatura

La temperatura, es una propiedad que mide la intensidad o nivel de calor de una sustancia. La temperatura no debe confundirse con el calor, ya que la temperatura no mide la cantidad de calor en una sustancia, sólo nos indica qué tan caliente o qué tan fría está esa sustancia.

La temperatura debe designarse en forma más precisa con referencia a una escala. El instrumento para medir la temperatura se llama termómetro; el más común, es el que se basa en la expansión uniforme de un líquido dentro de un tubo de vidrio sellado. Este tubo tiene en el fondo un bulbo donde se aloja el líquido (mercurio o alcohol).

°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	
-73	-100	-148	-18.9	-2	28.4	10.6	51	123.8	40.0	104	219.2	56.1	133	271.4
-68	-90	-130	-18.3	-1	30.2	11.1	52	125.6	40.6	105	221.0	56.7	134	273.2
-62	-80	-112	-17.8	0	32.0	11.7	53	127.4	41.1	106	222.8	57.2	135	275.0
-57	-70	-94	-17.2	1	33.8	12.2	54	129.2	41.7	107	224.6	57.8	136	276.8
-51	-60	-76	-16.7	2	35.6	12.8	55	131.0	42.2	108	226.4	58.3	137	278.6
-45.6	-50	-58.0	-16.1	3	37.4	13.3	56	132.8	42.8	109	228.2	58.9	138	280.4
-45.0	-49	-56.2	-15.6	4	39.2	13.9	57	134.6	43.3	110	230.0	59.4	139	282.2
-44.4	-48	-54.4	-15.0	5	41.0	14.4	58	136.4	43.9	111	231.8	60.0	140	284.0
-43.9	-47	-52.6	-14.4	6	42.8	15.0	59	138.2	44.4	112	233.6	60.6	141	285.8
-43.3	-46	-50.8	-13.9	7	44.6	15.6	60	140.0	45.0	113	235.4	61.1	142	287.6
-42.8	-45	-49.0	-13.3	8	46.4	16.1	61	141.8	45.6	114	237.2	61.7	143	289.4
-42.2	-44	-47.2	-12.8	9	48.2	16.7	62	143.6	46.1	115	239.0	62.2	144	291.2
-41.7	-43	-45.4	-12.2	10	50.0	17.2	63	145.4	46.7	116	240.8	62.8	145	293.0
-41.1	-42	-43.6	-11.7	11	51.8	17.8	64	147.2	47.2	117	242.6	63.3	146	294.8
-40.6	-41	-41.8	-11.1	12	53.6	18.3	65	149.0	47.8	118	244.4	63.9	147	296.6
-40.0	-40	-40.0	-10.6	13	55.4	18.9	66	150.8	48.3	119	246.2	64.4	148	298.4
-39.4	-39	-38.2	-10.0	14	57.2	19.4	67	152.6	48.9	120	248.0	65.0	149	300.2
-38.9	-38	-36.4	-9.4	15	59.0	20.0	68	154.4	49.4	121	249.8	65.6	150	302.0
-38.3	-37	-34.6	-8.9	16	60.8	20.6	69	156.2	50.0	122	251.6	66.1	151	303.8
-37.8	-36	-32.8	-8.3	17	62.6	21.1	70	158.0	50.6	123	253.4	66.7	152	305.6
-37.2	-35	-31.0	-7.8	18	64.4	21.7	71	159.8	51.1	124	255.2	67.2	153	307.4
-36.7	-34	-29.2	-7.2	19	66.2	22.2	72	161.6	51.7	125	257.0	67.8	154	309.2
-36.1	-33	-27.4	-6.7	20	68.0	22.8	73	163.4	52.2	126	258.8	68.3	155	311.0
-35.6	-32	-25.6	-6.1	21	69.8	23.2	74	165.2	52.8	127	260.6	68.9	156	312.8
-35.0	-31	-23.8	-5.6	22	71.6	23.9	75	167.0	53.3	128	262.4	69.4	157	314.6
-34.4	-30	-22.0	-5.0	23	73.4	24.4	76	168.8	53.9	129	264.2	70.0	158	316.4
-33.9	-29	-20.2	-4.4	24	75.2	25.0	77	170.6	54.4	130	266.0	70.6	159	318.2
-33.3	-28	-18.4	-3.9	25	77.0	25.6	78	172.4	55.0	131	267.8	71.1	160	320.0
-32.8	-27	-16.6	-3.3	26	78.8	26.1	79	174.2	55.6	132	269.6			
-32.2	-26	-14.8	-2.8	27	80.6	26.7	80	176.0						
-31.7	-25	-13.0	-2.2	28	82.4	27.2	81	177.8						
-31.1	-24	-11.2	-1.7	29	84.2	27.8	82	179.6						
-30.6	-23	-9.4	-1.1	30	86.0	28.3	83	181.4						
-30.0	-22	-7.6	-0.6	31	87.8	28.9	84	183.2						
-29.4	-21	-5.8	0	32	89.6	29.4	85	185.0						
-28.9	-20	-4.0	0.6	33	91.4	30.0	86	186.8						
-28.3	-19	-2.2	1.1	34	93.2	30.6	87	188.6						
-27.8	-18	-0.4	1.7	35	95.0	31.1	88	190.4						
-27.2	-17	1.4	2.2	36	96.8	31.7	89	192.2						
-26.7	-16	3.2	2.8	37	98.6	32.2	90	194.0						
-26.1	-15	5.0	3.3	38	100.4	32.8	91	195.8						
-25.6	-14	6.8	3.9	39	102.2	33.3	92	197.6						
-25.0	-13	8.6	4.4	40	104.0	33.9	93	199.4						
-24.4	-12	10.4	5.0	41	105.8	34.3	94	201.2						
-23.9	-11	12.2	5.6	42	107.6	35.0	95	203.0						
-23.3	-10	14.0	6.1	43	109.4	35.6	96	204.8						
-22.8	-9	15.8	6.7	44	111.2	36.1	97	206.6						
-22.2	-8	17.6	7.2	45	113.0	36.7	98	208.4						
-21.7	-7	19.4	7.8	46	114.8	37.2	99	210.2						
-21.1	-6	21.2	8.3	47	116.6	37.8	100	212.0						
-20.6	-5	23.0	8.9	48	118.4	38.3	101	213.8						
-20.0	-4	24.8	9.4	49	120.2	38.9	102	215.6						
-19.4	-3	26.6	10.0	50	122.0	39.4	103	217.4						

VALORES DE GRADOS SOLO			
°C	°F	°F	°C
1=	1.8	1=	0.56
2=	3.6	2=	1.11
3=	5.4	3=	1.67
4=	7.2	4=	2.22
5=	9.0	5=	2.78
6=	10.8	6=	3.33
7=	12.6	7=	3.89
8=	14.4	8=	4.44
9=	16.2	9=	5.00

$^{\circ}\text{F} = 1.8 \text{ }^{\circ}\text{C} + 32 = 9/5 \text{ }^{\circ}\text{C} + 32$
 $^{\circ}\text{C} = 5/9 (\text{ }^{\circ}\text{F} - 32) = (\text{ }^{\circ}\text{F} - 32) / 1.8$
 $\text{K} = \text{ }^{\circ}\text{C} + 273.15$
 $\text{K} = 5/9 \text{ R}$
 $\text{R} = \text{ }^{\circ}\text{F} + 459.69$
 $\text{R} = 1.8 \text{ K}$

Tabla 15.4 - Tabla de conversión de temperaturas.

Escalas de Temperatura Fahrenheit y Celsius

En 1592, Galileo inventó un termómetro, pero no tenía una escala bien definida. En 1720, el holandés Gabriel Fahrenheit, fue el primero que ideó un termómetro con una escala graduada, pero los puntos de referencia que escogió fueron la temperatura del cuerpo humano (100°F) y la de una mezcla de hielo con sal (0°F). En 1742, el sueco Anders Celsius, tomando el antecedente de Fahrenheit, ideó la escala de temperatura Celsius o Centígrada, usando como puntos de referencia la temperatura de una mezcla de hielo y agua pura (0°C), y la de ebullición del agua pura (100°C).

Estas dos escalas (la Fahrenheit y la Celsius), son las de uso más común en trabajos cotidianos. Ambas escalas tienen valores positivos (arriba del cero) y valores negativos (abajo del cero).

Escalas de Temperatura Absolutas, Kelvin y Rankine

Para trabajos más científicos, se requiere el uso de temperaturas absolutas (totales), que no tengan valores negativos. Las escalas absolutas comienzan de cero hacia arriba. El cero absoluto es una temperatura que se determinó matemáticamente, y se supone que a esta temperatura, se detiene el movimiento molecular de cualquier sustancia. Es la temperatura más baja posible en la tierra, y se supone también que en este punto, hay una total ausencia de calor.

Las escalas usadas para medir temperaturas absolutas son la Kelvin (Celsius absoluta) y la Rankine (Fahrenheit absoluta). La Kelvin usa las mismas divisiones o graduaciones que la escala Celsius, y el cero absoluto (0°K) equivale a -273.15°C. La escala Rankine usa las mismas divisiones que la escala Fahrenheit, y el cero absoluto (0°R) equivale a -460°F.

La unidad de temperatura en el SI es el Kelvin (K), aunque se permite el uso de °C. Las fórmulas para convertir grados de una escala a otra, se localizan al pie de la tabla 15.4.

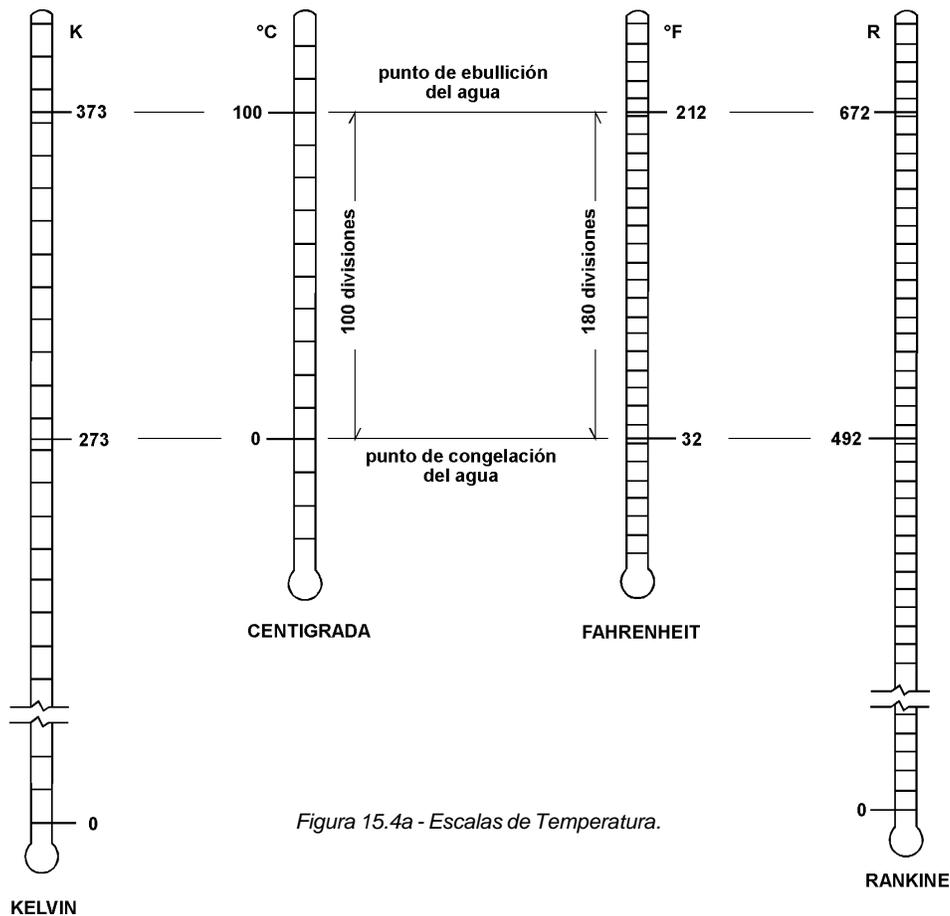


Figura 15.4a - Escalas de Temperatura.

Presión

La presión se define como la fuerza aplicada sobre una superficie, por lo que sus unidades son $\text{kgf/m}^2 = \text{N/m}^2$. Es una de las propiedades termodinámicas más útiles, porque se mide directamente con facilidad. La unidad de presión en el SI, es el N/m^2 y se le llama Pascal (Pa), en honor al físico francés Blaise Pascal.

Existen tres tipos de presión: a) Atmosférica o Barométrica, b) Manométrica, y c) Absoluta.

Presión Atmosférica - Es la presión ejercida por el peso del aire atmosférico, al ser atraído por la fuerza de la gravedad. Esta presión varía con relación a la altitud sobre el nivel del mar (ver figura 13.6 del capítulo de Psicrometría). También se le llama presión barométrica, porque el instrumento utilizado para medirla, se llama barómetro. El italiano Evangelista Torricelli, fue el primero en medir esta presión, utilizando un barómetro de mercurio. El valor que él obtuvo es de 760 mm de mercurio al nivel del mar. A estas unidades (mm Hg) también se les llama Torricelli (Torr). El valor de la presión atmosférica al nivel del mar, es como sigue:

Sistema Internacional = 101,325 Pa
(kiloPascuales) = 101.325 kPa

Sistema Métrico = $1.033 \text{ kg/cm}^2 = 760 \text{ mm Hg}$.

Sistema Inglés = $14.696 \text{ psi} = 29.92 \text{ in Hg}$.

Presión Manométrica - Cuando se desea medir la presión dentro de un sistema cerrado, se utiliza un instrumento llamado manómetro, por eso se le llama presión manométrica. La presión dentro de un sistema cerrado, puede ser mayor o menor que la atmosférica. A la presión mayor que la atmosférica, se le llama positiva; y a la menor, se le llama negativa o vacío. El manómetro marca la diferencia de presiones entre la que existe dentro del sistema y la presión atmosférica del lugar.

Presión Absoluta - Es la suma de la presión atmosférica más la presión manométrica. Si esta última es positiva, se suman, y si es negativa, se restan.

Presión Absoluta = presión atmosférica + presión manométrica.

Presión Absoluta = presión atmosférica - presión manométrica (vacío).

Las unidades con que se miden comúnmente las presiones, son kg/cm^2 en el sistema métrico, y lb/in^2 en el sistema inglés. Las presiones negativas o vacío, se acostumbra medirlas en mm de Hg y pulgadas de mercurio, respectivamente.

En la solución de la mayoría de los problemas de ingeniería sobre presión y volumen, es necesario utilizar valores de presión absoluta. La escala de presión absoluta, al igual que las de temperatura absoluta, no tiene valores negativos ni combina diferentes unidades. Inicia en el cero absoluto (0 Pa), que corresponde al vacío absoluto, y de allí aumenta. En la mayoría de las operaciones, el Pascal (Pa) resulta una unidad muy pequeña, por lo que generalmente se utilizan múltiplos de éste, que son el kiloPascal (kPa) que es igual a 1,000 Pa, o bien el bar, que es igual a 100,000 Pascales = 100 kPa. Al kiloPascal también se le conoce como pièze (pz).

En el sistema inglés, se hace una clara distinción entre libras por pulgada cuadrada absolutas (psia por sus siglas en inglés de Pound per Square Inch Absolute), y libras por pulgada cuadrada manométricas (psig por sus siglas en inglés de Pounds per Square Inch Gauge). Cuando sólo se usa psi sin la "a" o la "g", generalmente se refiere a diferencias o caídas de presión.

kiloPascuales (kPa)	x 0.010197 = kg/cm^2	mm Hg (Torr)	x 0.13333 = kPa
	x 0.14504 = lb/in^2 (psia)		x 0.00136 = kg/cm^2
	x 7.5 = mm Hg abs.		x 0.01934 = lb/in^2 (psi)
	x 0.2953 = in Hg abs.		x 0.03937 = in Hg
	x 0.01 = bar		x 0.001333 = bar
	x 0.00987 = atmósferas		x 0.00136 = atm
kg/cm²	x 10,000 = barye (μb)	in Hg (pulg. Hg)	x 1,000 = micrones (μ)
	x 98.064 = kPa		x 3.3864 = kPa
	x 14.2234 = lb/in^2 (psi)		x 0.03453 = kg/cm^2
	x 735.514 = mm Hg		x 0.49115 = lb/in^2 (psi)
	x 28.9572 = in Hg		x 25.4 = mm Hg
	x 0.987 = bar		x 0.03386 = bar
lb/in² (psia)	x 0.96778 = atmósferas	atmósfera (atm)	x 0.03342 = atm
	x 6.89474 = kPa		x 25,400 = micrones (μ)
	x 0.07031 = kg/cm^2		x 101.325 = kPa
	x 51.715 = mm Hg		x 1.03329 = kg/cm^2
	x 2.036 = in Hg		x 14.6969 = lb/in^2
1 psig	x 0.06895 = bar		x 760 = mm Hg
	x 0.0604 = atm		x 29.9212 = in Hg
			x 1.01325 = bar
0 psig	= 15.696 psia = 108.22 kPa		x 33.9 = pies de agua
	= 14.696 psia = 101.325 kPa		

Tabla 15.5 - Factores de conversión de unidades de presión.

Factores de Conversión

Un factor de conversión es una cantidad (entera o fraccionaria) que muestra la relación entre dos unidades de medición.

Los factores de conversión son muy útiles para resolver problemas donde se utilizan fórmulas en que intervienen dos o más unidades diferentes o donde la respuesta requiere una unidad de medición diferente a la usada en el problema.

A continuación se verán los factores para convertir unidades de un sistema a otro, principalmente del inglés al SI; agrupándolos por cada una de las cantidades más comúnmente utilizadas. También, se definirán las cantidades más importantes y se darán algunos ejemplos y fórmulas para calcularlas.

Longitud

La longitud se define como la distancia entre dos puntos. La unidad de longitud en el SI es el metro (m).

1 m = 10 decímetros (dm) = 100 centímetros (cm) = 1,000 milímetros (mm) = 1'000,000 micrones (μ) = 0.001 kilómetros (km).

kilómetros (km)	x 0.62137 = millas	yardas (yd)	÷ 1,093.61 = kilómetros	
	x 0.5399 = millas náuticas		x 0.9144 = metros	
	x 198.838 = rods		x 3 = pies	
	x 546.8 = fathoms (braza)		x 36 = pulgadas	
	x 1,094 = yardas		x 91.44 = centímetros	
	x 3,281 = pies		pies (ft)	x 0.3048 = metros
	x 1,000 = metros			x 0.3333 = yardas
millas (mi)	x 320 = rods	pulgadas (in)	x 12 = pulgadas	
	x 1,760 = yardas		x 30.48 = centímetros	
	x 5,280 = pies		x 0.0254 = metros	
	x 1,609.35 = metros		x 0.02777 = yardas	
	x 1.60935 = kilómetros		x 0.08333 = pies	
milla náutica (mi naut)	x 1.85325 = kilómetros	centímetros (cm)	x 2.54 = micrones	
	x 1.15155 = millas		x 25.4 = centímetros	
	x 368.497 = rods		x 25,400 = milímetros	
	x 1,853.25 = metros		÷ 30.48 = pies	
metros (m)	x 1.093613 = yardas	milímetros (mm)	÷ 2.54 = pulgadas	
	x 3.28083 = pies		÷ 25.4 = pulgadas	
	x 39.37 = pulgadas		÷ 304.8 = pies	
	÷ 1,609.35 = millas		÷ 1,000 = micrones	
	x 0.19884 = rods		micrones	÷ 25,400 = pulgadas
1 rod x 5.03 = metros				

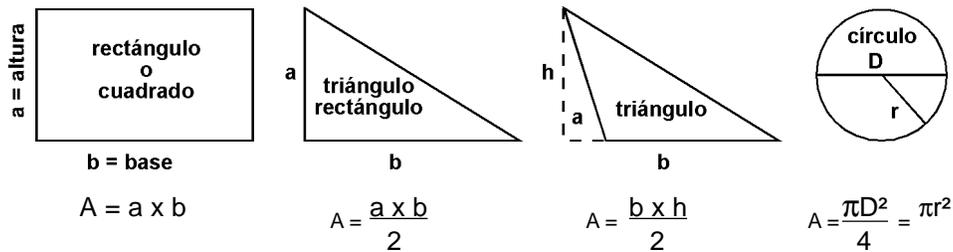
Tabla 15.6 - Factores de conversión de unidades de longitud.

Área

La medición de una área o superficie, es la medición de un espacio bidimensional. Las unidades de área en el SI, son las unidades de longitud al cuadrado ($m \times m = m^2$).

$1 m^2 = 100 dm^2 = 10,000 cm^2 = 1 \times 1'000,000 mm^2 = 0.001$ hectáreas (ha).

El área de las diferentes figuras geométricas, se encuentra aplicando fórmulas sencillas; por ejemplo:



millas cuadradas (mi²)	x 2.59 = km ²	metros cuadrados (m²)	x 0.0001 = hectáreas
	x 640 = acres		x 0.19599 = yd ²
	x 259 = hectáreas		x 10.7639 = ft ²
	x 2'589,999 = m ²		x 1,549.99 = in ²
kilómetros cuadrados (km²)	x 0.3861 = mi ²	pies cuadrados (ft²)	x 10,000 = cm ²
	x 100 = hectáreas		x 0.092903 = m ²
	x 247.104 = acres		x 0.11111 = yd ²
	x 1'000,000 = m ²		x 144 = in ²
acres	x 0.001563 = mi ²	pulgadas cuadradas (in²)	x 929.03 = cm ²
	x 4,840 = yd ²		x 6.4516 = cm ²
	÷ 247.104 = km ²		÷ 144 = ft ²
	x 4,046.86 = m ²		x 645.16 = mm ²
hectáreas (ha)	x 43,560 = ft ²	centímetros cuadrados (cm²)	÷ 1,296 = yd ²
	÷ 259 = mi ²		x 0.155 = in ²
	x 0.01 = km ²		÷ 929.03 = ft ²
	x 2.47104 = acres		x 100 = mm ²
	x 10,000 = m ²		x 0.0001 = m ²
	x 11,959.9 = yd ²		

Tabla 15.7 - Factores de conversión de unidades de área.

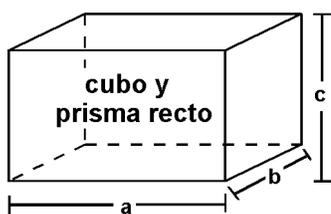
Volumen y Capacidad (Líquido)

La medición del volumen, es la medición de un espacio tridimensional. La unidad del volumen en el SI, es la unidad de longitud al cubo (m x m x m = m³). En mediciones de capacidad, se puede usar el litro (l) y sus múltiplos y submúltiplos.

1 m³ = 1,000 dm³ = 1'000,000 cm³ = 1,000 litros (l).

1 l = 10 decilitros (dl) = 100 centilitros (cl) = 1,000 mililitros (ml) = 1,000 centímetros cúbicos (cm³ o cc) = 1 decímetro cúbico (dm³).

Para calcular el volumen de diferentes cuerpos geométricos, se emplean fórmulas sencillas:



$$V = a \times b \times c$$



$$V = \pi r^2 L = \frac{\pi D^2}{4} L$$



$$V = \frac{4}{3} \pi r^3$$

metro cúbico (m³)	x 1.30795 = yd³	Bushel (U.S.)	x 35.2393 = litros (dm³)
	x 35.31447 = ft³		x 2,150.42 = in³
	x 28.38 = bushels U.S.		x 1.24446 = ft³
	x 220 = gal (brit.)		x 9.3092 = gal liq (U.S.)
	x 264.1728 = gal (U.S.)		x 8.0 = gal seco (U.S.)
pies cúbicos (ft³)	x 1,000 = litros (dm³)	galón líquido (gal)	x 0.035239 = m³
	x 0.028317 = m³		x 3.78543 = litros
	x 28.317 = dm³		x 8.34 = libras de agua
	x 1,728 = in³		x 0.13368 = ft³
	x 0.80356 = bushels U.S.		x 231 = in³
litros (l)	x 7.48055 = gal (U.S.)	galón seco (d gal)	x 4.0 = cuartos (liq)
	x 6.230 = gal (brit.)		x 8.0 = pintas
	x 1,000 = cm³ ó ml		x 128 = onzas (fluidos)
	x 61.0234 = in³	centímetros cúbicos (cm³ ó cc)	x 4.4049 = litros
	x 0.227 = gal seco (brit.)		x 0.15556 = ft³
	x 0.26418 = gal liq (U.S.)		x 268.803 = in³
	x 0.035314 = ft³		x 4.0 = cuartos (secos)
	x 2.1142 = pintas		x 0.001 = litros (dm³)
	x 4.54374 = galón imperial		x 0.061024 = in³
	x 1.05668 = cuartos liq.		x 1.0 = ml
x 33.8135 = onzas fluidas (U.S.)	x 0.03381 = onzas fluidas (U.S.)		
x 35.1988 = onzas fluidas (brit)	x 0.03519 = onzas fluidas (brit)		
barril	x 42 = gal (petróleo)	pulgadas cúbicas (in³)	x 16.387 = cm³
pinta	x 16 = oz fluidas		÷ 1,728 = ft³
	x 0.473 = litros		x 0.016387 = dm³ (litros)
cuarto (qt)	x 2.0 = pintas		x 16,387 = mm³
	x 32.0 = onzas		
	x 0.946 = litros		

Tabla 15.8 - Factores de conversión de unidades de volumen.

Masa

En nuestra vida cotidiana, por tradiciones usamos un sistema de unidades mixto e incompatibles; es decir, usamos el kg tanto como unidad de fuerza, como de masa o para presión.

La literatura abunda en una confusión entre fuerza y masa, que sin duda, proviene de que la masa puede medirse por la fuerza de gravedad (como en una báscula) y, consecuentemente, se usa la misma unidad (el kilogramo) para medir cada una, sin indicar si es de masa o de fuerza. Es importante hacer la diferencia entre lo uno y lo otro. La palabra **peso**, se usa para indicar fuerza de gravedad, y **masa**, es la que se compara en una báscula o balanza. Ejemplo: cuando se dice "ese bulto pesa 30 kg", es más probable que se quiera indicar una masa. Cuando se dice "el empuje del resorte sobre el pistón es de 6 kg", se está haciendo referencia a una fuerza.

Un kg. masa, es una cantidad absoluta de materia. Esto significa que un kg de materia en reposo, siempre es un kg., independientemente de su situación en el espacio, aún cuando la fuerza de gravedad sea pequeña o nula.

La unidad de masa en el SI, es el kilogramo (kg).

1 kg = 1,000 gramos (g) = 1'000,000 miligramos (mg) = 1 litro agua @ 4°C.

Nota: En el sistema de unidades inglés, existen dos tipos de masa, el Avoirdupois y el Troy.

Tonelada (ton)	X 1,000 = kg	Libras (troy) (lb t)	X 0.37324 = kg
	X 1.10231 = ton corta (U.S.)		X 12.0 = oz (troy)
	X 0.98421 = ton larga (brit)		X 5,760 = granos
	X 2,204.58 = lb		X 373.24 = g
Tonelada Corta (U.S.)	X 2,000 = lb (avoir)	Libras (avoir) (lb)	X 0.82286 = lb (avoir)
	X 0.9072 = ton		X 13.1657 = oz (avoir)
	X 0.89286 = ton larga		X 0.45359 = kg
	X 907.185 = kg		X 16.0 = oz (avoir)
Tonelada Larga (brit)	X 2,240 = lb (avoir)	Kilogramos (kg)	X 7,000 = granos
	X 1.01605 = ton		X 453.59 = g
	X 1.12 = ton corta		X 1.21528 = lb (troy)
	X 1,016.05 = kg		X 2.204585 = lb (avoir)
Gramos (g)	X 0.001 = kg	Onzas (avoir) (oz)	X 2.67923 = lb (troy)
	X 0.03527 = oz (avoir)		X 1,000 = g
	X 0.03215 = oz (troy)		X 35.2734 = oz (avoir)
	X 15.432 = granos		X 32.1507 = oz (troy)
	X 20.0 = gotas agua		X 15,432.4 = granos
Onzas (troy) (oz t)	X 31.10 = g	Onzas (troy) (oz t)	X 28.35 = g
	X 1.09714 = oz (avoir)		X 0.9115 = oz (troy)
	X 480.0 = granos		X 437.5 = granos

Tabla 15.9 - Factores de conversión de unidades de masa y peso.

Caudal (Flujo)

El caudal es el paso de una cantidad de masa (kg), por una unidad de tiempo (s). El caudal se mide de 3 maneras distintas, y las unidades en el sistema internacional SI, son diferentes para cada una:

Caudal en base a la masa - kg/s

Caudal en base al volumen - m³/s

Caudal en base a la masa por área - kg/m²s

EN BASE A LA MASA			EN BASE AL VOLUMEN		
kg/s	X 0.001	= g/s	m³/s	X 60	= m ³ /min
	X 3,600	= kg/h		X 3,600	= m ³ /h
	X 3.6	= ton/h		X 60,000	= l/min
	X 7,936.5	= lb/h		X 35.3147	= ft ³ /s
	X 2.20462	= lb/s		X 2,118.87	= ft ³ /min
kg/sm²	X 3,600	= kg/h m ²	X 15,850.4	= gal/min (USA)	ft³/min
	X 0.2048	= lb/s ft ²	X 13,199	= gal/min (brit)	
	X 737.35	= lb/h ft ²	X 0.02832	= m ³ /min	
	X 5.12	= lb/h in ²	X 28.32	= l/min	
			X 7.482	= gal/min (USA)	
			X 6.228	= gal/min (brit)	gal/min (USA)
			X 0.2271	= m ³ /h	
			X 3.78543	= l/min	
			X 8.019	= ft ³ /h	
			X 0.8326	= gal/min (brit)	
			X 0.06	= m ³ /h	l/min
			X 2.1186	= ft ³ /h	
			X 0.2642	= gal/min (USA)	
			X 0.22	= gal/min (brit)	

Tabla 15.10 - Factores de conversión de unidades de caudal.

Velocidad Lineal

La velocidad lineal es el desplazamiento de un objeto con respecto al tiempo; por lo que, sus unidades son de longitud por tiempo. En el SI son m/s.

Pies/seg (ft/s)	X 0.3048	= m/s	Metros/seg (m/s)	X 3.28083	= ft/s
	X 30.48	= cm/s		X 2.23693	= mi/h
	X 1.097283	= km/h		X 3.6	= km/h
	X 0.68182	= mi/h		X 39.37	= in/s
	X 12.0	= in/s		X 1.94254	= nudos
Millas/Hora (mi/h)	X 0.59209	= nudos	(km/h)	X 0.27778	= m/s
	X 1.60935	= km/h		X 0.62137	= mi/h
	X 0.44704	= m/s		X 0.53959	= nudos
	X 26.8217	= m/min		X 0.91134	= ft/s
	X 1.46667	= ft/s		X 16.6667	= m/min
	X 0.86839	= nudos			

Tabla 15.11 - Factores de conversión de unidades de velocidad lineal.

Aceleración Lineal

La aceleración se puede definir como: el incremento de velocidad con respecto al tiempo. Como vimos al principio de este capítulo, una cantidad unitaria de aceleración se indica por un metro por segundo y por segundo; es decir, las unidades de la aceleración son dimensiones de longitud por unidad de tiempo al cuadrado m/s^2 .

ft/s²	X 0.3048	= m/s ²	m/s²	X 3.2808	= ft/s ²
	X 12.0	= in/s ²		X 100	= cm/s ²
	X 30.48	= cm/s ²		X 39.37	= in/s ²
	X 0.68182	= mi/hs		X 3.6	= km/hs
	X 1.09728	= kg/hs		X 2.237	= mi/hs

Tabla 15.12 - Factores de conversión de unidades de aceleración lineal.

Fuerza

Una fuerza cuando se aplica a un cuerpo en reposo, lo hace que se mueva.

Como vimos al inicio de este capítulo, la fuerza es igual a una unidad de masa (kg) por una unidad de aceleración (m/s^2), lo que resulta $F = kg \times m/s^2$. La unidad de fuerza en el SI es entonces el $kg \cdot m/s^2$ que se le llama Newton (N). $1 N = 1 kg \cdot m/s^2$. El Newton es la fuerza que aplicada a un cuerpo con masa de 1 kg, le da una aceleración de $1 m/s^2$.

Otra unidad de fuerza es el kilogramo - fuerza (kgf) que se le llama así para diferenciarlo del kilogramo masa (kg).

$1 kgf = 9.8066 N$ (aceleración de la gravedad).

En la mayoría de los países europeos, se ha adoptado el kilopond como unidad de fuerza, en lugar del kgf.

Newton (N)	X 100,000	= dinas	kgf	X 980,665	= dinas
	X 0.001	= sthène (sn)		X 9.80665	= N
	X 0.2248	= lb f		X 0.000981	= sthène
	X 7.233	= poundal		X 2.20458	= lbf
	X 0.10197	= kgf			

Tabla 15.13 - Factores de conversión de unidades de fuerza.

Volumen Específico (Masa Volumétrica)

El volumen específico de cualquier sustancia, es el volumen (m³) que ocupa una unidad de masa (kg); en otras palabras, es el volumen de un kilogramo de gas en condiciones normales (20°C y 101.3 kPa). Para darnos una mejor idea, el volumen específico de un kilogramo de aire seco y limpio, es de 0.84m³. Comparándolo con el hidrógeno, un kilogramo de éste ocupa 11.17m³, y un kilogramo de amoníaco ocupa 1.311m³. A los gases que ocupan mayor espacio que el aire, se les llama gases ligeros; los que ocupan menor espacio que el aire, se les llama gases pesados.

Las unidades en el SI para medir el volumen específico son m³/kg.

$$1 \text{ m}^3/\text{kg} = 1,000 \text{ cm}^3/\text{g} = 1,000 \text{ l/kg} = 1,000 \text{ dm}^3/\text{kg}.$$

Pies cúbicos/lb (ft³/lb)	X 1.728 = in³/lb	Metros cúbicos/kg (m³/kg)	X 16.018647 = ft³/lb
	X 62.427 = l/kg=(dm³/kg)		X 119.842 = gal/lb (liq)
	X 62.427 = cm³/g		X 2,768 = in³/lb
	X 0.062427 = m³/kg		X 1,000 = l/kg=dm³/kg
	X 7.48055 = gal/lb (liq)		X 1,000 = cm³/g
Pulgada cúbicos/lb (in³/lb)	÷ 1.728 = ft³/lb	Centímetros cúbicos/g (cm³/g)	X 0.001 = m³/kg
	X 0.03613 = l/kg=dm³/kg		X 1.0 = l/kg=dm³/kg
	X 0.03613 = cm³/g		X 27.68 = in³/lb
	÷ 27,700 = m³/kg		X 0.0160186 = ft³/lb
	÷ 231 = gal/lb (liq)		X 0.11983 = gal/lb (liq)
gal/lb (liq)	X 8.3454 = l/kg=dm³/kg	Partes por millón (ppm)	X 20.0 = gotas de agua
	X 0.13369 = ft³/lb		X 1.0 = mg/l = mg/kg
	X 0.008345 = m³/kg		X 0.058416 = granos/gal
	÷ 231.0 = in³/lb		X 0.007 = granos/lb

Tabla 15.14 - Factores de conversión de unidades de volumen específico.

Para determinar cualquier factor de conversión, donde intervienen dos o más unidades, el procedimiento es muy simple; por ejemplo, el factor para convertir m³/kg a ft³/lb (tabla 15.14), el cual es 16.018647, se determina de la siguiente manera:

Las unidades que conocemos son m³/kg, y queremos convertir una cantidad cualquiera a ft³/lb. Primero, necesitamos saber cuántos pies cúbicos tiene un metro cúbico. De la tabla 15.8 vemos que 1 m³ = 35.31447 ft³. también necesitamos saber cuántas libras tiene un kilogramo; de la tabla 15.9, vemos que 1 kg = 2.20458 lb. El procedimiento es el siguiente:

$$1 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \times \frac{35.3145 \text{ ft}^3}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{2.204585 \text{ lb}} = \frac{35.3145 \text{ ft}^3 \text{ kg}}{2.20458 \text{ lb m}^3} = 16.018647 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

En el caso de que no conociéramos la equivalencia de volumen entre m³ y ft³; pero conocemos la equivalencia de longitud entre m y ft (1 m = 3.28084 ft), también se puede determinar el mismo factor procediendo como sigue:

$$1 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \times \frac{(3.28084 \text{ ft})^3}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{2.204585 \text{ lb}} = \frac{35.3145 \text{ ft}^3}{2.204585 \text{ lb}} = 16.0187 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

De la misma manera se puede proceder para cualquier otro factor, aún conociendo solamente las equivalencias básicas. Nótese que el valor de una de las unidades es siempre uno (1), y que se puede utilizar como multiplicador o como divisor, sin cambiar el valor de la ecuación.

Ejemplo: encontrar el volumen en m³ de una cámara que tiene las siguientes dimensiones, largo = 80 pies, ancho = 50 pies y alto = 12 pies.

De la fórmula para encontrar el volumen de un prisma recto (tabla 15.7) v= largo x ancho x alto.

$$v = 80 \text{ ft} \times 50 \text{ ft} \times 12 \text{ ft} = 48,000 \text{ ft}^3$$

$$v = 48,000 \text{ ft}^3 \times \frac{1 \text{ m}^3}{35.3145 \text{ ft}^3} = 1,359.2 \text{ m}^3$$

Obsérvese que el uno del factor de conversión va arriba en este caso, para que se puedan cancelar los factores comunes (ft³).

Densidad o Peso Específico

La densidad de cualquier sustancia, es su masa (no su peso) por unidad de volumen. Las unidades de densidad en el S.I. son kg/m³. Es aparente por las unidades, que la densidad es la inversa del volumen específico. Densidad = 1/volumen específico.

$$1 \text{ kg/m}^3 = 1,000 \text{ g/m}^3 = 0.001 \text{ g/cm}^3 = 0.001 \text{ kg/l} = 1.0 \text{ g/l}$$

lb/pie cúbico (lb/ft³)	X 16.018646 = kg/m ³	kg/metro cúbico (kg/m³)	X 0.062427 = lb/ft ³
	X 0.0160186 = g/cm ³ = kg/l		÷ 27,700.8 = lb/in ³
	X 1,728 = lb/in ³		X 1,000 = g/cm ³ = kg/l
	X 0.13368 = lb/gal (liq)		÷ 119.826 = lb/gal (liq)
libras/galón (lb/gal)	X 7.48052 = lb/ft ³	Gramos/cm³ (g/cm³)	X 1.0 = g/l
	÷ 231.0 = lb/in ³		X 1,000 = kg/m ³ = g/l
	X 0.119826 = g/cm ³ = kg/l		X 0.03613 = lb/in ³
	X 119.826 = kg/m ³		X 62.4283 = lb/ft ³
			X 1.0 = kg/l

Tabla 15.15 - Factores de conversión de unidades de densidad.

Como se mencionó arriba, la densidad es la inversa o recíproco del volumen específico.

Ejemplo: La densidad del agua a 20°C es 998.204 kg/m³ ¿Cuál es su volumen específico?

$$v = \frac{1}{998.204 \text{ kg/m}^3} = 0.0010017 \text{ m}^3/\text{kg} = 1.0017 \text{ l/kg}$$

De manera similar, los factores de conversión del volumen específico, son el recíproco de la densidad. Para determinar un factor de la densidad dividimos 1 entre el factor del volumen específico y viceversa.

Ejemplo: el factor de volumen específico para convertir ft³/lb a m³/kg es 0.0624272 (tabla 15.14). ¿Cuál será el factor para convertir lb/ft³ a kg/m³? Dividimos 1 entre el factor.

$$\frac{1}{0.0624272} = 16.01865 \text{ (ver tabla 15.15)}$$

Trabajo, Energía y Calor

Cuando sobre un objeto se aplica una fuerza y se le desplaza una cierta distancia, se ha efectuado un trabajo. Por lo tanto, trabajo = fuerza (kg-m/s²) x distancia (m) = Nm.

En el SI, la unidad de trabajo es el Newton - metro (Nm) y se le llama Joule (J). Un Joule es la cantidad de trabajo hecho por la fuerza de un Newton, moviendo su punto de aplicación una distancia de un metro. Otras unidades de trabajo son la dina por cm (dina - cm), y se llama erg y el kilogramo fuerza por metro (kgf-m). Como un Joule es una unidad de calor muy pequeña, para trabajos de refrigeración se utiliza mejor el kiloJoule (kJ) = 1,000 J.

Energía es la capacidad o habilidad de hacer trabajo; por lo que las unidades, son las mismas que el trabajo.

El calor es una forma de energía, por lo que sus unidades en el SI son la caloría (cal) y la kilocaloría (kcal), esta última equivale a 1,000 calorías. En el sistema inglés la unidad de calor es la british thermal unit (btu).

btu (medio)	X 1.05587 kJ	Joules (J)	X 0.1019716 kgf-m
	X 107.558 kgf-m		X 0.73756 lbf-ft
	X 0.252 kcal		÷ 4,184 kcal
	X 778.1 lbf-ft		÷ 1,055.06 btu
	X 0.2931 W-h		X 10 ergs
	÷ 2,510 Cv-h		÷ 3,600 W-h
÷ 2,544.7 hp-h		kgf-m	X 9.80665 W-h
kilocalorías (kcal)	X 3.96832 btu		X 7.233 lbf-ft
	X 4.184 kJ		X 0.002724 W-h
	X 426.9 kgf-m		X 0.002642 kcal
	X 3,087.77 lbf-m	X 0.009296 btu	
	X 0.001559 hp-h	lbf-ft	X 1.35573 J
	X 0.001581 Cv-h		X 0.13826 kgf-m
X 1.163 W-h			

Tabla 15.16 - Factores de conversión de unidades de trabajo, energía y calor.

Potencia

La potencia es la rapidez o velocidad con que la energía se transforma en trabajo; de aquí que sus unidades sean de trabajo (J) por unidades de tiempo (s). La unidad de la potencia en el SI es el Watt (W); entonces 1 W = J/s. Algunas veces se emplea mejor el kiloWatt (kW) que equivale a 1,000 W. Otras unidades comunes de potencia son el caballo de vapor (cv) en el sistema métrico, y el horse power (hp) en el sistema inglés. También, el kilogramo fuerza · metro por segundo (kgf·m/s).

kiloWatt (kW)	x 859.8 = kcal/h	horse power (hp)	X 1.01387 = cv
	X 3,412.14 = btu/h		X 745.65 = W
	X 1.359 = cv		X 550.0 = lbf·ft/s
	X 1.341 = hp		X 76.04 = kgf·m/s
	X 101.97 = kgf·m/s		X 2,544.66 = btu/h
	X 737.4 = lbf·ft/s		X 641.232 = kcal/h
	X 1,000 = W		X 4.716 = T.R.
Caballo de vapor (cv)	X 0.28435 = T.R.	kgf·m/s	X 9.8066 = W
	X 0.7355 = kW		X 7.233 = lbf·ft/s
	X 0.9863 = hp		X 8.4312 = kcal/h
	X 75.0 = kgf·m/s		X 33.48 = btu/h
	X 542.475 = lbf·ft/s	lbf·ft/s	X 1.3558 = W
	X 632.48 = kcal/h		X 0.13826 = kgf·m/s
	X 2,509.85 = btu/h		X 1.1653 = kcal/h
X 4.781 = T.R.		X 4.626 = btu/h	

Tabla 15.17 - Factores de conversión de unidades de potencia.

Viscosidad

La viscosidad de un fluido se puede definir como su resistencia a fluir. Por eso existe la fricción en los fluidos.

Debido a que existen más de cinco unidades diferentes para la viscosidad absoluta, es preciso entender el concepto físico de ésta para utilizar las unidades apropiadas.

Un fluido al deslizarse sobre una superficie, la parte baja del fluido que está en contacto con la superficie tendrá menor velocidad que la parte superior, debido a la fricción. Mediante un razonamiento matemático, después de que el fluido ha recorrido una distancia, tenemos que la viscosidad es:

$$\text{viscosidad} = \frac{\text{fuerza} \times \text{distancia}}{\text{área} \times \text{velocidad}}$$

A esta viscosidad se le llama viscosidad dinámica o absoluta. Substituyendo por las unidades respectivas del SI tenemos:

$$\text{viscosidad} = \frac{\text{kg} \times \text{m}}{\text{m}^2 \times \text{m/s}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \cdot \text{s} \text{ (Pascal segundo)}$$

La unidad más común para medir la viscosidad dinámica es el Poise.

$$1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 1 \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2 = 10 \text{ Poise}$$

$$1 \text{ Poise} = 100 \text{ centiPoise (cP)}.$$

Otro tipo de viscosidad es la cinemática, que es la misma viscosidad dinámica dividida por la densidad. Las unidades deben ser compatibles; así, en el SI, la viscosidad cinemática es igual a : m²/s y se le llama myriastoke, aunque es más común el uso del Stoke (St) y el centiStoke (cSt).

VISCOSIDAD DINAMICA O ABSOLUTA			VISCOSIDAD CINEMATICA		
Poise	X 0.10 = Pa·s	m²/s	X 10,000 = St		
	X 360 = kg/m·h		x 10.7643 = ft ² /s		
	X 0.002088 = lbf·s/ft ²		X 645.86 = ft ² /min		
Pa·s	X 10 = Poise	St	X 0.0001 = m ² /s		
	X 1,000 = cP		X 0.001076 = ft ² /s		
	X 0.02088 = lbf·s/ft ²		X 0.01 = cSt		

Tabla 15.18 - Factores de conversión de unidades de viscosidad.

Entalpía y Entalpía Específica

La entalpía se puede definir como el contenido de calor de una sustancia. La entalpía es todo el calor contenido en un kilogramo de sustancia, calculada a una temperatura de referencia que es de 0°C para el agua y vapor de agua, y de -40°C para refrigerantes. Como la entalpía es calor, sus unidades en el SI son las mismas que para la energía: Joules (J). En el sistema inglés son btu y en el métrico son kilocalorías (kcal).

La entalpía específica es la entalpía descrita arriba, pero referida a una unidad de masa; esto es, Joules por kilogramo (J/kg) en el SI. En el sistema inglés las unidades son btu/lb. Como el J/kg es una unidad pequeña, es más común utilizar el kiloJoule por kilogramo (kJ/kg).

EN BASE A LA MASA			EN BASE AL VOLUMEN		
kJ/kg	X 0.239	= kcal/kg	kJ/m³	X 0.239	= kcal/m³
	X 0.43	= btu/lb		X 0.026839	= btu/ft³
kcal/kg	X 4.184	= kJ/kg	kcal/m³	X 4.184	= kJ/m³
	X 1.8	= btu/lb		X 0.11236	= btu/ft³
btu/lb	X 2.3244	= kJ/kg	btu/ft³	X 37.2589	= kJ/m³
	X 0.5556	= kcal/kg		X 8.9	= kcal/m³

Tabla 15.19 - Factores de conversión de unidades de entalpía.

Entropía y Entropía Específica

La entropía es una propiedad termodinámica muy útil, sobre todo en trabajos de ingeniería. Es difícil dar una explicación sencilla; pero de una manera simple, se puede decir que la entropía de una sustancia, es su calor disponible medido en Joules. Al igual que la entalpía, la entropía está basada en una temperatura de referencia de 0°C para el agua y -40°C para refrigerantes. También, al igual que la entalpía, al efectuar cálculos, lo que importa no es su valor absoluto, sino el cambio de entropía. Un cambio de entropía es la suma de todos sus incrementos diferenciales de calor, dividida entre la temperatura absoluta que existe en el momento de cada incremento. Entropía es entonces = calor/temp. absoluta = Joules/K en el SI.

La entropía específica es la referida a una unidad de masa, por lo que sus unidades en el SI son J/kg K. En el

sistema métrico, sus unidades son kcal/kg °C y en el sistema inglés las unidades son btu/lb R y btu/lb °F.

Como sabemos, el Joule (J) es una unidad muy pequeña, por lo que es más común el uso de kiloJoule (kJ).

kJ/kg K	X 0.239	= kcal/kg °C
	X 0.23885	= btu/lb °F
kcal/kg °C	X 1.0	= btu/lb °F
	X 4.184	= kJ/kg K
btu/lb °F	X 4.1868	= kJ/kg K
	X 1.0	= kcal/kg °C

Tabla 15.20 - Factores de conversión de unidades de la entropía.

Transferencia de Calor

CONDUCTIVIDAD TERMICA			COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR		
W/mK	X 0.8598	= kcal/h·m·°C	W/m²K	X 0.8595	= kcal/h·m²·°C
	X 0.5778	= btu/h·ft·°F		X 0.17611	= btu/h·ft²·°F
kcal/h·m·°C	X 1.16222	= W/mK	kcal/h·m²·°C	X 1.16222	= W/m²K
	X 0.627	= btu/h·ft·°F		X 0.2048	= btu/h·ft²·°F
btu/h·ft·°F	X 1.7307	= W/mK	btu/h·ft²·°F	X 5.6782	= W/m²K
	X 1.488	= kcal/h·m·°C		X 4.883	= kcal/h·m²·°C

Tabla 15.21 - Factores de conversión de unidades de transferencia de calor.

Nota: En la tabla 15.26 se muestra una lista de la conductividad térmica de algunos materiales.

Calor Específico (Capacidad Calorífica)

De acuerdo a la definición de kilocaloría, = la cantidad de calor que se requiere agregar (o quitar) a un kilogramo de agua para aumentar (o disminuir) su temperatura en un grado centígrado; la capacidad calorífica (c) del agua es 1.0 kcal/kg °C (1 kcal/1 kg x 1°C = 1).

Pero no todas las sustancias tienen la misma capacidad que el agua, para aumentar o disminuir su temperatura con los cambios de calor, ni aún el hielo; por lo que la mayoría de las sustancias van a tener valores diferentes, algunas mayores y otras menores a 1.0 (ver tabla 15.23).

Así, pues, el calor específico se puede definir igual que la kilocaloría, pero referido a cualquier sustancia diferente del agua. Esto es, el calor específico (c) es la cantidad de calor requerido para aumentar la temperatura de cualquier sustancia en un grado, en relación a la cantidad de calor requerido para aumentar en un grado, la temperatura de una masa igual de agua.

Por ejemplo, de la tabla 15.23 el calor específico de alcohol es 0.615 kcal/kg °C; esto nos indica que para elevar un °C la temperatura de un kilogramo de alcohol se requieren 0.615 kcal con relación a un kg de agua, que se requiere 1.0 kcal.

kJ/kg K	X 0.239	= kcal/kg °C
	X 0.2388	= btu/lb °F
kcal/kg °C	X 4.184	= kJ/kg K
	X 1.0	= btu/lb °F
btu/lb °F	X 4.1868	= kJ/kg K
	X 1.0	= kcal/kg °C

Tabla 15.22 - Factores de conversión de unidades de calor específico.

MATERIAL	CALOR ESPECIFICO		MATERIAL	CALOR ESPECIFICO	
	kcal/kg °C	kJ/kg K		kcal/kg °C	kJ/kg K
Acero (Hierro)	0.129	0.5397	R-502	0.255	1.0669
Agua	1.0	4.184	Salmuera al 20%	0.850	3.5564
Aire	0.242	1.0125	Vidrio	0.187	0.7824
Alcohol metílico	0.615	2.5732	Zinc	0.095	0.3975
Aluminio	0.214	0.8953	ALIMENTOS		
Amoniaco (4°C)	1.10	4.6024	Apio	0.91	3.8074
Asbesto	0.20	0.8368	Carne de cerdo	0.50	2.092
Bronce	0.104	0.4351	Carne de res	0.75	3.1380
Carbón	0.241	1.0083	Carne de ternera	0.70	2.9288
Cartón	0.324	1.3556	Col	0.93	3.8911
Cobre	0.095	0.3975	Durazno	0.92	3.8493
Concreto	0.156	0.6527	Frijol	0.91	3.8074
Corcho	0.485	2.0292	Huevos	0.76	3.1798
Glicerina	0.576	2.410	Leche	0.90	3.7656
Grafito	0.200	0.8368	Mantequilla	0.60	2.5104
Hielo	0.504	2.1087	Manzana	0.92	3.8493
Ladrillo	0.200	0.8368	Pescado	0.80	3.3472
Latón	0.09	0.3766	Papas	0.80	3.3472
Madera	0.327	1.3681	Pollo	0.80	3.3472
Mercurio	0.033	0.1394	Queso	0.64	2.6778

Tabla 15.23 - Calores específicos promedio de algunas sustancias.

Equivalentes de Refrigeración

A continuación, veremos algunas equivalencias de las unidades más comúnmente empleadas en refrigeración. Sin duda la que más destaca es la Tonelada de Refrigeración, la cual es una medida arbitraria que surgió en E.U., donde la única unidad que se manejaba era el btu. Como el btu es demasiado pequeño, para medir capacidades nominales de las plantas frigoríficas y para clasificar equipo, había necesidad de una unidad más adecuada.

La tonelada de refrigeración está basada en la cantidad de calor en btu, que se requiere extraer a una tonelada corta (2,000 lb) de agua a 32°F, para convertirla en hielo a 32°F.

El calor latente de congelación (solidificación) del agua, es muy cercana a 144 btu/lb; por lo tanto, para congelar 2,000 lb de agua, se requiere extraerle (2,000 lb X 144 btu/lb)=288,000 btu. Esta cantidad es la que define, de manera precisa, la unidad de refrigeración norteamericana, y se llama tonelada estándar de refrigeración. Si esta unidad

térmica se refiere a una unidad de tiempo, como un día (24 hrs) se le llama Tonelada Estándar comercial, y es igual a 288,000 btu/24h =12,000 btu/h. 1T.R.=12,000 btu/h.

T.R.	x 12,000	= btu/h
	x 200	= btu/min
	x 3,024	= kcal/h
	x 3.5145	= kW
	x 12,652	= kJ/h
kcal/h	x 4.716	= hp
	x 3.9683	= btu/h
	÷ 3,024	= T.R.
btu/h	x 0.2845	= kW
	÷ 12,000	= T.R.
	x 0.252	= kcal/h
	x 293	= kW

Tabla 15.24 - Factores de conversión de unidades de refrigeración.

Propiedades y Datos de Almacenamiento para Productos Perecederos

PRODUCTO	CALOR ESPECIFICO kcal/kg °C (a)		CALOR LATENTE DE FUSIÓN kcal/kg (b)	PUNTO DE CONGEL. MAS ALTO °C	CONT. DE HUMEDAD %	ALMACENAJE CORTO			ALMACENAJE PROLONGADO			
	ARRIBA DEL PUNTO DE CONGEL.	ABAJO DEL PUNTO DE CONGEL.				TEMP. °C	% h.r. MIN. MAX.	CALOR DE RESPIRACION kcal/kg DIA	TEMP. °C	% h.r. MIN. MAX.	CALOR DE RESPIRACION kcal/kg DIA	VIDA DE ALMACENAMIENTO APROX.
PRODUCTOS LACTEOS												
Mantequilla	0.64	0.34	8.3	-1	15.0	4	75 - 80	---	-22	80 - 85	---	6 meses
Queso												
- Americano	0.64	0.36	43.9	-8	55.0	4(h)	75 - 80	---	0(h)	75 - 80	---	12 meses
- Limburger	0.70	0.40	47.8	-7	60.0	4(h)	80 - 85	---	0(h)	80 - 85	---	2 meses
- Roquefort	0.65	0.32	43.9	-16	55.0	7(h)	75 - 80	---	-1(h)	75 - 80	---	2 meses
- Suizo	0.64	0.36	43.9	-9	55.0	4(h)	75 - 80	---	0(h)	75 - 80	---	2 meses
Crema	0.85	0.40	50.0	-2	55.0	2	---	---	-22	---	---	4 meses
Helado	0.75	0.42	49.5	-2	61.0	-26	---	---	-26	---	---	3-4 meses
Leche												
- Entera	0.92	0.48	69.5	-1	88.0	2	---	---	---	---	---	5 días
- Condensada	0.42	---	22.2	---	28.0	4	---	---	4	---	---	3 meses
- Evaporada	0.72	---	58.9	---	74.0	---	---	---	T. amb.	---	---	12 meses
- Deshidratada	0.22	---	2.2	---	3.0	---	---	---	10	80	---	3 meses
FRUTAS												
Manzanas	0.87	0.45	67.2	-1.5	84.1	2(f)	85 - 88(h)	0.4	-1(f)	85 - 88(h)	0.3	3-8 meses
Chabacanos	0.88	0.46	67.8	-1.0	85.4	2	80 - 85	0.5	-0.5	80 - 85	0.3	2 seman.
Aguacates	0.81	0.45	65.6	0.3	82.0	10(h)	85 - 90(h)	---	7(f)	85 - 90(h)	---	3 seman.
Plátanos												

Referencias al final de la tabla (página 253).

Continúa...

Propiedades y Datos de Almacenamiento para Productos Perecederos

PRODUCTO	CALOR ESPECIFICO kcal/kg °C (a)		CALOR LATENTE DE FUSIÓN kcal/kg (b)	PUNTO DE CONGEL. MAS ALTO °C	CONT. DE HUMEDAD %	ALMACENAJE CORTO			ALMACENAJE PROLONGADO			
	ARRIBA DEL PUNTO DE CONGEL.	ABAJO DEL PUNTO DE CONGEL.				TEMP. °C	% h.r. MIN. MAX.	CALOR DE RESPIRACION kcal/kg DIA	TEMP. °C	% h.r. MIN. MAX.	CALOR DE RESPIRACION kcal/kg DIA	VIDA DE ALMACENAMIENTO APROX.
Cerezas	0.86	0.45	64.5	-1.8	80.4	2	80 - 85	0.15	-0.5	80 - 85	0.08	2 seman.
Cocos	0.58	0.34	37.2	-1	46.9	2	80 - 85	---	0	80 - 85	---	2 meses
Arándanos	0.90	0.46	68.9	-1	87.4	4	85 - 90	0.27	2	85 - 90(h)	0.27	3 meses
Grosellas	0.88	0.45	66.6	0	84.7	2	85 - 90	---	0	85 - 90	---	2 seman.
Dátiles (curados)	0.36	0.26	16.1	-16	20.0	2(f)	65 - 75	---	-2(f)	65 - 70	---	6 meses
Fruta Seca	0.42	0.28	21.7	---	28.0	2	50 - 60	---	0	50 - 60	---	12 meses
Higos (frescos)	0.82	0.43	62.2	-2.5	78.0	4	65 - 75	---	0	65 - 75	---	12 días
Toronjas	0.91	0.46	70.0	-1	88.8	7	85 - 90	0.27	0	85 - 90(h)	0.13	6 seman.
Uvas	0.86	0.44	64.4	-2.2	81.6	2	80 - 90	0.27	-0.5	85 - 90(h)	0.13	5 meses
Limonos (amarillos)	0.91	0.47	70.5	-1.4	89.3	13(e)	85 - 90(h)	0.80	13	85 - 90(h)	0.53	3 meses
Limonos (verdes)	0.86	0.45	65.5	-1.3	82.9	7	85 - 90(h)	0.80	7	85 - 90(h)	0.53	8 seman.
Melones	0.94(c)	0.48(c)	66.7(c)	-1.1	87.0(c)	7	85 - 90	0.93	4	85 - 90	0.53	3 seman.
Aceitunas (frescas)	0.80	0.42	60.0	-1.4	75.2	10	85 - 90	---	7	85 - 90	0.53	5 seman.
Naranjas	0.90	0.46	68.9	-0.7	87.2	4(f)	85 - 90	0.40	0(f)	85 - 90(h)	0.27	3-12 seman.
Duraznos	0.90	0.46	68.9	-1.0	89.1	2	80 - 85	0.53	0	80 - 85(h)	0.27	2-4 seman.
Peras	0.86	0.45	65.6	-1.6	82.7	2(f)	90 - 95	0.40	-1(f)	90 - 95(h)	0.27	2-7 meses
Piñas												
- Verdes	0.88	0.45	67.8	-1.0	85.3	10	85 - 90(h)	---	---	---	---	4 seman.
- Maduras	0.88	0.45	67.8	-1.1	85.3	4	85 - 90(h)	---	---	---	---	3 seman.
Ciruelas	0.88	0.45	65.6	-0.8	85.3	4	80 - 85	0.80	-0.5	80 - 85(h)	0.40	2-6 seman.
Ciruelas Pasas	0.88	0.45	65.6	-0.8	85.3	4	80 - 85	0.80	-0.5	80 - 85(h)	0.40	2-6 seman.
Membrillos	0.88	0.45	67.8	-2.0	85.3	2	80 - 85	0.40	-0.5	80 - 85(h)	0.27	2-3 meses
Pasas	0.47	0.33	25.0	---	---	7	85 - 90	---	4	85 - 90	---	3-6 meses
Frambuesas	0.84	0.44	67.8	-1.1	80.6	-0.5	85 - 90	1.3	---	---	---	3 días
Fresas	0.92	0.42	71.7	-0.8	89.9	-0.5	85 - 90	1.0	---	---	---	5-7 días
Mandarinas	0.90	0.46	69.4	-1.0	87.3	4	85 - 90	0.9	0	85 - 90	0.63	2-4 seman.
CARNE												
Tocino (curado)	0.43	0.29	21.7	---	28.0	13	55 - 65	---	---	---	---	15 días
Carne de Res												
- Seca	---	---	---	---	---	---	---	---	13	65 - 70	---	6 meses
- Fresca	0.77	0.42	55.0	-1.1(c)	70.0	1(h)	85 - 90	---	0(h)	85 - 90	---	3 seman.
- En salmuera	---	---	---	---	---	4	80 - 85(k)	---	0	80 - 85(k)	---	6 meses
Hígado / Lengua	0.77	0.44	56.7	---	72.0	1	85 - 90	---	0	85 - 90	---	3 seman.
Jamón / Espaldilla												
- Fresco	0.61	0.35	44.4	-1.1(c)	54.0	1(h)	85 - 88	---	-2(h)	85 - 88	---	3 seman.

Referencias al final de la tabla (página 253).

Continúa...

Propiedades y Datos de Almacenamiento para Productos Perecederos

PRODUCTO	CALOR ESPECIFICO kcal/kg °C (a)		CALOR LATENTE DE FUSIÓN kcal/kg (b)	PUNTO DE CONGEL. MAS ALTO °C	CONT. DE HUMEDAD %	ALMACENAJE CORTO			ALMACENAJE PROLONGADO					
	ARRIBA DEL PUNTO DE CONGEL.	ABAJO DEL PUNTO DE CONGEL.				TEMP. °C	% h.r. MIN. MAX.		CALOR DE RESPIRACION kcal/kg DIA	TEMP. °C	% h.r. MIN. MAX.		CALOR DE RESPIRACION kcal/kg DIA	VIDA DE ALMACENAMIENTO APROX.
AVES														
Pollo	0.80	0.42	58.9	-2.8(c)	74.0	-2	85 - 90	---	---	---	---	10 días		
Ganso	0.58	0.35	38.3	-2.2	48.0	-2	85 - 90	---	---	---	---	10 días		
Pavo	0.66	0.38	45.6	-2.2	57.0	-2	85 - 90	---	---	---	---	10 días		
Silvestres	0.80	0.42	63.3	-2.8(c)	77.0	-2	85 - 90	---	---	---	---	10 días		
Aves Congeladas	---	0.40(c)	---	-2.8(c)	---	-21	85 - 90	---	-23	90 - 95	---	10 meses		
MARISCOS														
Almejas														
- En Concha	0.84	0.44	63.9	-2.7	80.0	0	---	---	---	---	---	15 días		
- Sin Concha	0.90	0.46	69.5	-2.7	87.0	0	70 - 75	---	---	---	---	10 días		
Cangrejos (cocidos)	0.83	0.44	63.9	---	80.0	-4	80 - 90	---	---	---	---	10 días		
Pescados														
- Frescos	0.80(c)	0.43(c)	61.1(c)	-2.2(c)	80.0(c)	-1	80 - 95(h)	---	---	---	---	15 días		
- Congelados	---	0.43(c)	---	---	---	-21	---	---	-23	---	---	8 meses		
- Ahumados	0.70	0.39	51.1	---	---	7	50 - 60	---	4	50 - 60	---	6 meses		
Langostas	0.83	0.44	62.8	---	79.0	-4	80 - 90	---	---	---	---	10 días		
Ostiones														
- En Concha	0.84	0.44	63.9	-2.8	80.0	0	---	---	---	---	---	15 días		
- Sin Concha	0.90	0.46	69.5	-2.8	87.0	0	70 - 75	---	---	---	---	10 días		
Camarones / Moluscos	0.83	0.45	66.1	-2.2	75.0	0	70 - 75	---	---	---	---	7-10 días		
VEGETALES														
Alcachofas	0.87	0.45	66.7	-1.2	83.7	4	90 - 95	4.0	-0.5	90 - 95	2.8	1-2 seman.		
Espárragos	0.94	0.48	74.5	-0.6	93.0	0	85 - 90	.47	0	85 - 90(h)	0.5	3-4 seman.		
Habichuelas Verdes	0.91	0.47	71.1	-0.7	88.9	7	85 - 90	2.7	7	85 - 90(h)	2.7	7-10 días		
Habas	0.73	0.40	52.2	-0.6	66.5	4	85 - 90	4.0	0	85 - 90(h)	2.7	1-2 seman.		
Betabeles														
- Con Rabo	0.90	0.46	70.0	-0.4	87.6	4	85 - 90	1.3	0	95(h)	0.8	10-14 días		
- Sin Rabo	0.90	0.46	70.0	-1.0	87.6	4	85 - 90	1.3	0	85 - 90	0.8	3 meses		
Brócoli	0.92	0.47	72.2	-0.6	89.9	4	90 - 95	1.3	0	90 - 95	0.8	9-12 días		
Col de Bruselas	0.88	0.46	72.2	-0.6	89.9	4	90 - 95	1.3	0	90 - 95(h)	0.8	3-5 seman.		
Repollo	0.94	0.47	73.3	-0.9	92.4	2	90 - 95	1.3	0	90 - 95(h)	0.8	3-4 meses		
Zanahorias														
- Con Rabo	0.86	0.46	70.0	-1.4	88.2	4	85 - 90	1.1	0	85 - 90(h)	0.7	10-14 días		
- Sin Rabo	0.90	0.46	70.0	-1.4	88.2	4	85 - 90	1.1	0	95	0.7	4-5 meses		
Coliflor	0.93	0.47	73.3	-0.8	91.7	2	85 - 90	1.3	0	85 - 90(h)	0.8	2-4 seman.		
Apio	0.95	0.48	75	-0.5	93.7	2	85 - 90	1.3	0	90 - 95(h)	0.8	3-4 meses		
Col	0.90	---	---	-0.8	86.9	2	85 - 90	1.3	0	90 - 95(h)	0.8	2 seman.		

Referencias al final de la tabla (página 253)

Continúa...

Propiedades y Datos de Almacenamiento para Productos Perecederos

Referencias al final de la tabla (página 253)

Continúa...

Propiedades y Datos de Almacenamiento para Productos Perecederos

- Notas:**
- a. Los calores específicos para productos no incluidos en la lista, se pueden estimar como sigue:
 Calor específico arriba de congelación = $0.20 + (0.008 \times \% \text{ agua})$.
 Calor específico abajo de congelación = $0.20 + (0.003 \times \% \text{ agua})$.
 - b. Los calores latentes de fusión para productos no incluidos en la lista, se pueden estimar como sigue:
 Calor de fusión = $\% \text{ agua} \times 79.7 \text{ Kcal/kg}$.
 - c. Valor promedio.
 - d. Los huevos con albúmen (clara) débil, se congelan abajo de -1°C .
 - e. Los limones en los mercados terminales se acostumbra almacenarlos entre 10 y 13°C ; algunas veces se usa 0°C .

PRODUCTO	CALOR ESPECÍFICO (Kcal/kg °C) (MÉDIO)					ALMACENAJE CORTO				ALMACENAJE PROLONGADO		
	ARRIBA DEL PUNTO DE CONGEL.	ABAJO DEL PUNTO DE CONGEL.	DE CONGEL. ALTO	DE CONGEL. BAJO	CONT. DE HUMEDAD (%)	TEMP. °C	% h.r. MAX.	RESPIRACION kcal/kg DIA	TEMP. °C	% h.r. MIN. MAX.	CALOR DE RESPIRACION kcal/kg DIA	VIDA DE ALMACENAMIENTO APROX.
	j. En los casos donde el producto es sellado del aire, o donde el % de hr no es crítico, la humedad relativa se dejó en blanco (—). k. Con barriles de madera se requiere alta humedad para evitar que se resequen y resulten fugas. l. Es deseable una humedad constante.											
Nueces	El período de almacenamiento recomendado para manzanas andan en el rango de 0°C (Golden Delicious) y una hr entre 85 y 90% para un almacenamiento exitoso.											
- Con Cáscara	0.25	0.22	4.4(c)	---	6.0(c)	4 a 7	65 - 75	---	-2 a 0	65 - 75	---	10 meses
- Sin Cáscara	0.30	0.24	5.6(c)	---	8.0(c)	4 a 7	65 - 75	---	-2 a 0	65 - 75	---	8 meses
Aceite Vegetal	---	---	---	---	0	21	---	---	21	---	---	1 año
Jugo de Naranja frío	0.91	0.47	71.1	---	89.0	2	---	---	-1	---	---	6 seman.
Maíz Palomero	0.31	0.24	10.6	---	13.5	4	85	---	0	85	---	---
Alimentos Congelados												
Precocidos	---	---	---	---	---	-18	---	---	-23	---	---	10 meses
Sueros / Vacunas	---	---	---	---	---	7	70	---	4	70	---	---
Levadura	0.77	0.41	56.7	---	70.9	2	80 - 85	---	-0.5	75 - 80	---	---

Condiciones de Almacenamiento para Flores y Plantas de Vivero

	CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO		VIDA DE ALMACENAMIENTO APROX.	METODO DE EMPAQUE	PUNTO DE CONGELACION MAS ALTO °C
	TEMP. °C	h.r. %			
FLORES CORTADAS					
Cala	4	90 - 95	1 semana	Empaque seco	---
Camelia	7	90 - 95	3-6 días	Empaque seco	-0.8
Clavel	0 a 2	90 - 95	1mes	Empaque seco	-0.7
Crisantemo	0 a 2	90 - 95	3-6 semanas	Empaque seco	-0.8
Narciso	0 a 1	90 - 95	1-3 semanas	Empaque seco	-0.1
Dalia	4	90 - 95	3-5 días	Empaque seco	---
Gardenia	0 a 1	90 - 95	2-3 semanas	Empaque seco	-0.6
Gladíolo	2 a 4	90 - 95	1 semana	Empaque seco	-0.3
Lis	0 a 2	90 - 95	2 semanas	Empaque seco	-0.8
Lirio (Azucena)	0 a 2	90 - 95	2-3 semanas	Empaque seco	-0.5
Lirio de los Valles	-1 a 0	90 - 95	2-3 semanas	Empaque seco	---
Orquidea	7 a 10	90 - 95	2 semanas	Agua	-0.3
Peonía (botón)	0 a 2	90 - 95	4-6 semanas	Empaque seco	-0.1
Rosa (botón)	0	90 - 95	1-2 semanas	Empaque seco	-0.4
Becerra o Dragón	-1 a 0	90 - 95	3-4 semanas	Empaque seco	-0.9
Guisante de Olor	-1 a 0	90 - 95	2 semanas	Empaque seco	-0.9
Tulipán	-1 a 0	90 - 95	4-8 semanas	Empaque seco	---
VERDES					
Espárrago	0 a 4	90 - 95	4-5 meses	Cajas forradas	-3.3
Helecho	-1 a 0	90 - 95	4-5 meses	Empaque seco	-1.7
Acebo	0	90 - 95	4-5 semanas	Empaque seco	-2.8
Arándano	0	90 - 95	1-4 semanas	Empaque seco	-2.9
Laurel	0	90 - 95	1-4 semanas	Empaque seco	-2.4
Magnolia	2 a 4	90 - 95	1-4 semanas	Empaque seco	-2.8
Rododendro	0	90 - 95	1-4 semanas	Empaque seco	-2.4
BULBOS					
Amarilis o Narciso	3 a 7	70 - 75	5 meses	Seco	-0.7
Azafrán	9 a 17	---	2-3 meses	---	---
Dalia	4 a 7	70 - 75	5 meses	Seco	-1.8
Gладиола	3 a 10	70 - 75	8 meses	Seco	-2.1
Jacinto	13 a 21	---	2-5 meses	---	-1.5
Lis (Holanda y España)	27 a 29	70 - 75	4 meses	Seco	---
Gloriosa	17	70 - 75	3-4 meses	Forradas	---
- Candidum	-1 a 1	70 - 75	1-6 meses	Forradas y musgo	---
- Croft	-1 a 1	70 - 75	1-6 meses	Forradas y musgo	---
- Longiflorum	-1 a 1	70 - 75	1-10 meses	Forradas y musgo	-1.7
- Speciosum	-1 a 1	70 - 75	1-6 meses	Forradas y musgo	---
Peonía	1 a 2	70 - 75	5 meses	Seco	---
Tuberosa (Nardo)	4 a 7	70 - 75	4 meses	Seco	---
Tulipán	-1 a 0	70 - 75	5-6 meses	Seco	-2.4
PLANTAS DE VIVERO					
Arboles y Arbustos	0 a 2	80 - 85	4-5 meses	---	---
Rosales	0	85 - 90	4-5 meses	Forradas con la raíz descubierta	---
Plantas de Fresa	-1 a 0	80 - 85	8-10 meses	Forradas con la raíz descubierta	-1.2
Cortes Enraizados	1 a 4	85 - 90	---	Forradas	---
Plantas Perennes	-3 a 2	80 - 85	---	Forradas	---
Arboles de Navidad	-6 a 0	80 - 85	6-7 semanas	Forradas	---

Información Técnica

Fracción de pulgada	Fracción decimal de pulgada	Milímetros	Fracción de pulgada	Fracción decimal de pulgada	Milímetros
1/64	0.0156	0.3967	33/64	0.5162	13.0968
1/32	0.0312	0.7937	17/32	0.5312	13.4937
3/64	0.0468	1.1906	35/64	0.5468	13.8906
1/16	0.0625	1.5875	9/16	0.5625	14.2875
5/64	0.0781	1.9843	37/64	0.5781	14.6843
3/32	0.0937	2.3812	19/32	0.5937	15.0812
7/64	0.1093	2.7781	39/64	0.6093	15.4781
1/8	0.125	3.175	5/8	0.625	15.875
9/64	0.1406	3.5718	41/64	0.6406	16.2718
5/32	0.1562	3.9687	21/32	0.6562	16.6687
11/64	0.1718	4.3656	43/64	0.6718	17.0656
3/16	0.1875	4.7625	11/16	0.6875	17.4625
13/64	0.2031	5.1593	45/64	0.7031	17.8593
7/32	0.2187	5.5562	23/32	0.7187	18.2562
15/64	0.2343	5.9531	47/64	0.7343	18.6531
1/4	0.25	6.5	3/4	0.75	19.05
17/64	0.2656	6.7468	49/64	0.7656	19.4468
9/32	0.2812	7.1437	25/32	0.7812	19.8437
19/64	0.2968	7.5406	51/64	0.7968	20.2406
5/16	0.3125	7.9375	13/16	0.8125	20.6375
21/64	0.3281	8.3343	53/64	0.8281	21.0343
11/32	0.3437	8.7312	27/32	0.8437	21.4312
23/64	0.3593	9.1281	55/64	0.8593	21.8281
3/8	0.375	9.525	7/8	0.875	22.225
25/64	0.3906	9.9218	57/64	0.8906	22.6218
13/32	0.4062	10.3187	29/32	0.9062	23.0187
27/64	0.4218	10.7156	59/64	0.9218	23.4156
7/16	0.4375	11.1125	15/16	0.9375	23.8125
29/64	0.4531	11.5093	61/64	0.9531	24.2093
15/32	0.4687	11.9062	31/32	0.9687	24.6062
31/64	0.4843	12.3031	63/64	0.9843	25.0031
1/2	0.5	12.7	1	1.000	25.4

Tabla 15.25 - Fracciones y decimales de pulgada y su equivalente en mm.

MATERIAL	k	R*	MATERIAL	k	R*
SUSTANCIAS VARIAS			MATERIALES AISLANTES		
Aire	0.175	5.714	Corcho (granulado)	0.34	2.941
Concreto	8.000	0.125	Madera Balsa	0.32	3.125
Vidrio	5.000	0.20	Fieltro	0.25	4.00
Plomo	243.000	0.004	Fibra de Vidrio	0.29	3.448
Vacío (alto)	0.004	250.0	Poliuretano	0.16	6.25
			Hule, Celular	0.37	2.703
			Aglomerado (pino)	0.57	1.754
			Lana	0.26	3.846

Tabla 15.26 - Conductividad térmica de algunos materiales.

k = está dado en btu/h-ft²-°F.

* R = recíproco del coeficiente de transferencia de calor (k).

Tubería de Cobre - La mayoría de la tubería utilizada en refrigeración es de cobre (excepto con amoniaco).

La tubería de cobre viene disponible en tipos rígido y flexible. Ambos tipos los hay disponibles en dos espesores de pared, K y L. El tipo K es de pared gruesa, y el tipo L es de espesor mediano. La tubería más usual en refrigeración es el tipo L. El cobre suave se presenta en rollos de 8 m y 15 m, y se utiliza principalmente en refrigeración doméstica y comercial. Es muy flexible y se dobla fácilmente. Se fabrica en diámetros desde 3/16 hasta 3/4 de pulgada.

El tubo de cobre duro o rígido, se usa en refrigeración comercial y aire acondicionado. No se debe doblar ni hacer conexiones "flare", las uniones son soldadas. Se presenta en tramos de tubo de 6 m.

Diámetro Nominal (pulg.)	Tipo	Diámetro		Espesor de pared (pulg.)	Peso (kg/m)	Presión de Trabajo	
		ext. (pulg.)	Int. (pulg.)			bar	psia
1/4	K	0.375	0.305	0.035	0.216	63.3	918
	L	0.375	0.315	0.030	0.188	52.7	764
3/8	K	0.500	0.402	0.049	0.400	68.1	988
	L	0.500	0.430	0.035	0.295	46.7	677
1/2	K	0.625	0.527	0.049	0.512	53.7	779
	L	0.625	0.545	0.040	0.424	43.1	625
5/8	K	0.750	0.652	0.049	0.622	44.3	643
	L	0.750	0.666	0.042	0.539	37.7	547
3/4	K	0.875	0.745	0.065	0.954	51.5	747
	L	0.875	0.785	0.045	0.677	34.3	497
1	K	1.125	0.995	0.065	1.249	39.6	574
	L	1.125	1.025	0.050	0.975	29.8	432
1-1/4	K	1.375	1.245	0.065	1.548	32.1	466
	L	1.375	1.265	0.055	1.316	26.7	387
1-1/2	K	1.625	1.481	0.072	2.024	29.0	421
	L	1.625	1.505	0.060	1.697	24.8	359
2	K	2.125	1.959	0.083	3.066	25.9	376
	L	2.125	1.985	0.070	2.604	21.8	316
2-1/2	K	2.625	2.435	0.095	4.360	24.3	352
	L	2.625	2.465	0.080	3.690	20.3	295
3	K	3.125	2.907	0.109	5.953	23.6	343
	L	3.125	2.945	0.090	4.956	19.1	278
3-1/2	K	3.625	3.385	0.120	7.620	22.3	324
	L	3.625	3.425	0.100	6.384	18.5	268
4	K	4.125	3.857	0.134	9.688	21.7	315
	L	4.125	3.905	0.110	8.007	17.7	256

Tabla 15.27 - Medidas de tubería de cobre (ASTM B-88).

Longitud Equivalente de Tubería - Cada válvula, conexión, accesorio y vuelta en una línea de refrigeración, contribuye a la caída de presión por fricción debido a su restricción a un flujo estable. Debido a la complejidad de calcular la caída de presión a través de cada una de ellas en lo individual, la práctica normal es establecer un equivalente en longitud de tubería recta para cada accesorio.

D.E. DE LINEA		CODO 90°	CODO 45°	"T" (LINEA)	"T" (RAMAL)	VALVULAS (ABIERTAS)		
mm	pulg					GLOBO	ANGULO	CHECK
12.7	1/2	0.27	0.12	0.18	0.61	4.26	2.13	1.8
15.9	5/8	0.30	0.15	0.24	0.76	4.88	2.75	2.4
22.2	7/8	0.45	0.21	0.30	1.07	6.70	3.65	3.0
28.6	1-1/8	0.55	0.27	0.46	1.37	8.53	4.60	4.3
34.9	1-3/8	0.73	0.36	0.55	1.83	11.00	5.50	4.9
41.3	1-5/8	0.85	0.43	0.61	2.13	12.80	6.40	6.1
54.0	2-1/8	1.20	0.55	0.91	3.05	17.40	8.50	7.6
66.7	2-5/8	1.40	0.67	1.07	3.65	21.00	10.40	8.3
79.4	3-1/8	1.70	0.82	1.37	4.60	25.30	12.80	9.1

Tabla 15.28 - Longitud equivalente en metros de tubo recto para válvulas y conexiones.

Procesos de Soldadura Capilar para Tuberías de Cobre Rígido

Antes de ver paso a paso el proceso recomendado para soldar tubería de cobre rígido, mencionaremos algunas de sus características y ventajas.

Diámetros Nominal, Exterior e Interior

Los diámetros de las tuberías rígidas son nominales. Para conocer el diámetro exterior correspondiente, se debe sumar 1/8 de pulgada al diámetro nominal y, si se quiere conocer el diámetro interior, bastará con restar dos veces el espesor de la pared correspondiente. Ver figura 15.29.

Las principales características y ventajas de la tubería de cobre rígido son:

- Resistencia a la corrosión.
- Se fabrican sin costura.
- Continuidad de flujo.
- Facilidad de unión.
- Fácil de cortar y de soldar.

Conexiones Soldables

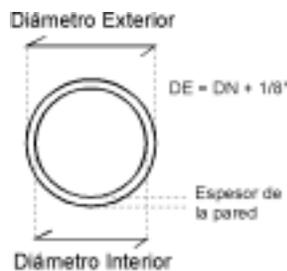


Figura 15.29 - Determinación del DE y DI de un tubo rígido.

Las conexiones soldables para unir tubería de cobre, son fabricadas de tal manera que permiten, una vez ensambladas, tener juego de muy pocas milésimas, justamente lo necesario para realizar el proceso de soldadura capilar. Todas las conexiones cuentan con un tope o asiento en su interior, que permite introducir el extremo del tubo de cobre, no dejando ningún espacio muerto que pudiera crear turbulencias en los fluidos. Además, todas las conexiones soldables vienen grabadas en los extremos, con la medida del diámetro nominal de entrada.

Las conexiones soldables se fabrican de diferentes materiales: cobre, bronce y latón. La gama de conexiones es muy variada.

Las conexiones de cobre son las más recomendables para unir tuberías de cobre, puesto que son del mismo metal y tienen las mismas características. Se fabrican codos de 90° y de 45°, tees, coples, reducciones de buje y campana, etc...

Las conexiones de bronce son una aleación de cobre, zinc, estaño y plomo. Son piezas fundidas y posteriormente maquinadas, por lo que su superficie exterior es rugosa. Se fabrican también roscables, además de soldables, en variedades como codos, tees, coples, reducciones, yeas, tapones, conectores, tuerca unión, etc.

Las conexiones de latón son aleaciones de cobre y zinc y piezas forjadas. Por lo regular, tienen un extremo soldable y uno roscado, para unir una pieza roscable con un tubo de cobre. Comercialmente, se identifican nombrando primero la unión soldable y luego la roscable.

Todos los tipos de conexiones antes mencionados, se pueden obtener fácilmente en el mercado, y para identificarlas existe una manera comercial, dependiendo del tipo y del diámetro nominal. Normalmente, una conexión que tiene el mismo diámetro en todos sus extremos, se nombra por su medida nominal. En el caso de conexiones con rosca, se debe indicar claramente el lado roscable y el tipo de rosca (interior o exterior). Para las conexiones soldables con reducción, se da primero el diámetro mayor y luego el menor, como en el caso de coples y codos reducidos. Las tees reducidas, tomando en cuenta que tienen dos lados en línea recta, se nombra primero el de mayor diámetro, luego el extremo opuesto y finalmente el diámetro del centro.

Proceso de Soldadura Capilar

La unión de tubería de cobre y conexiones soldables, se hace por medio de "soldadura capilar". Este tipo de soldadura se basa en el fenómeno físico de la capilaridad, que se define como sigue: cualquier líquido que moje un cuerpo sólido, tiende a deslizarse por la superficie del mismo, independientemente de la posición en que se encuentre. Al realizar una soldadura, se calientan el tubo y la conexión hasta alcanzar la temperatura de fusión de la soldadura, la cual correrá por el espacio entre el tubo y la conexión, cualquiera que sea la posición que estos tengan.

Tipos de Soldadura

En general, podemos decir que las soldaduras son aleaciones de dos o más metales en diferentes proporciones. Las soldaduras deben fundir a temperaturas menores que las piezas metálicas a unir.

Aunque existen muchos tipos de soldaduras, aquí hablaremos de las que sirven para unir tuberías y conexiones de cobre o aleaciones de éste. La unión de tuberías de cobre se realiza por medio de dos tipos de soldaduras: blandas y fuertes, según sea el caso. Estas soldaduras son :

Soldaduras Blandas - Son todas aquellas que tienen su punto de fusión abajo de 450°C (842°F). Se utilizan principalmente en instalaciones hidráulicas en los desagües de los evaporadores, ya que no es recomendable someterlas a alta presión. Existen tres de uso común y se emplean de acuerdo al fluido. En la tabla 15.30, se muestran las características de estos tipos de soldaduras.

Soldaduras Fuertes - Estas se dividen en dos clases: las que contienen plata y las que contienen cobre y fósforo. Estos tipos de soldaduras tienen puntos de fusión mayores de 430°C, y son las recomendadas para instalaciones de sistemas de refrigeración, aunque se prefieren las de cobre y fósforo para unir tuberías y conexiones de cobre.

ALEACION	COMPOSICION	TEMPERATURA DE FUSION		TEMPERATURA MAXIMA DE TRABAJO	PRESION MAXIMA DE TRABAJO		DENSIDAD ESPECIFICA kg/cm ²
		SOLIDO	LIQUIDO		AGUA	VAPOR	
40:60	40% estaño 60% plomo	183 °C	238 °C	100 °C	8 kg/cm ²	---	9.3
50:50	50% estaño 50% plomo	183 °C	216 °C	120 °C	10 kg/cm ²	0.5 kg/cm ²	8.85
95:5	95% estaño 5% antimonio	232 °C	238 °C	155 °C	18 kg/cm ²	1.0 kg/cm ²	7.50

Tabla 15.30
Tipos de soldaduras blandas empleadas en tubo de cobre.

El fósforo en este tipo de soldaduras, actúa como un agente fundente, y éstas son de menor costo que las de alto contenido de plata, por lo que en ocasiones, no se requiere aplicar fundente.

En las soldaduras de plata, la aleación varía desde un 5% hasta un 60% de plata, y su punto de fusión depende de esta aleación. Por ejemplo, una soldadura con 5% de plata funde a 675°C, y con 15% de plata funde a 640°C.

Las soldaduras de cobre y fósforo, tienen puntos de fusión mayores (700°C) y alta resistencia a la tensión (2,800 kg/cm²). Existen soldaduras de cobre fosforado con contenido de 5% de plata, lo que le da mayor resistencia (más de 2,900 kg/cm²).

La selección de una soldadura fuerte, depende de cuatro factores principales:

- Dimensiones y tolerancias de la unión.
- Tipo y material de la conexión (fundida o forjada).
- Apariencia deseada.
- Costo.

Las soldaduras fuertes tienen la ventaja de que se pueden unir metales similares y diferentes a temperaturas relativamente bajas.

Fundente

El fundente tiene una función muy apropiada. Debe disolver o absorber los óxidos, tanto en la superficie del metal, como en la superficie de la soldadura, los cuales se forman durante el calentamiento. Para lograr esto, debe adherirse tan ligeramente a la superficie metálica, que la soldadura pueda sacarla de allí conforme avanza sobre la superficie. El fundente no limpia el metal. Lo mantiene limpio, una vez que se ha removido la suciedad y el óxido.

Al aplicar cualquiera de las soldaduras blandas, es indispensable utilizar fundente. El fundente debe ser anticorrosivo o exclusivo para soldar tubería de cobre. Debe agitarse antes de usarlo. Debe aplicarse una capa delgada y uniforme con una brocha o cepillo, tanto al tubo como a la conexión. Debe evitarse aplicarlo con los dedos, ya que los compuestos químicos del fundente, pueden ser dañinos si llegan a los ojos o una herida abierta.

Los fundentes para soldaduras fuertes, son diferentes en composición que los de soldaduras blandas. No pueden y no deben intercambiarse. Los fundentes para soldaduras fuertes son a base de agua. El fundente puede ser una fuente de corrosión en un sistema. Debe evitarse que entre en él.

NOTA: Existen ciertos tipos de soldaduras, que en su interior contienen resina (alma ácida); sin embargo, estas soldaduras no son recomendadas para unir tuberías de cobre, pues el poder humectante del fundente que contienen, no es suficiente, ya que viene en mínimas proporciones, además de contener ácido.

El Soplete

Cuando se va a unir una tubería de cobre regida por medio de una conexión, es necesario aplicar calor. Este calor lo proporciona una flama lo suficiente intensa, que al aplicarla al tubo, la soldadura se derrita al contacto.

El artefacto que proporciona este calor es el soplete, el cual puede ser de diferentes combustibles: gasolina, propano, gas L.P. oxi-acetileno, etc.

La llama de un soplete tiene dos coloraciones, que corresponden a diversos grados de calor. La llama amarilla es luminosa pero no muy calorífica. Al abrir poco a poco la esprea, pasa más mezcla gas-aire si hay suficiente presión, desaparece la flama amarilla para convertirse en azul, que es más calorífica; y a medida que la esprea se abra más, se intensifica el calor.

Ya sea que el combustible sea acetileno, propano o gas natural (L.P.), hay tres tipos básicos de flamas que se producen, cuando se mezclan con el oxígeno en el soplete:

Flama Neutral - Es la que tiene en medio un pequeño cono azul. Esta flama típicamente es la más caliente, y se utiliza cuando se requiere aplicar calor en un solo punto específico.

Flama Oxidante - Esta se produce cuando hay presente más oxígeno del necesario, para la combustión completa del gas. Se caracteriza porque el cono azul es el más corto, cuando se usa acetileno con oxígeno. Otra característica es el sonido áspero que hace el soplete, debido al exceso de oxígeno.

GAS	FORMULA QUIMICA	kcal/m ³	TEMP. DE LA FLAMA CON AIRE (°C)	TEMP. DE LA FLAMA CON OXIGENO PURO (°C)
Acetileno	C ₂ H ₂	13,126	2,650	3,090 - 3,260
Hidrógeno	H ₂	2,447	2,200	2,420 - 2,870
Propano	C ₃ H ₈	22,426	2,090	2,930 - 3,100
Butano	C ₄ H ₁₀	28,922	2,150	2,980
Gas Natural	CH ₄ , H ₂	8,900	2,090	2,775
	-----	21,360	1,470	2,930

Tabla 15.31 - Calor y temperatura de flama de varios gases combustibles.

Este tipo de flama no se recomienda para soldar; el exceso de oxígeno, contribuye a la oxidación de los metales.

Flama Reductora - También llamada carburante, es la contraria a la flama oxidante. Esta flama tiene una proporción tal de gas-oxígeno que, hay presente un exceso de gas combustible. Se caracteriza por tener el cono azul más grande que el de la flama oxidante, con un cono suave y blanco alrededor del azul. Es la flama predominantemente recomendada para soldar.

La flama reductora ofrece varias ventajas. Primera, realmente ayuda a eliminar el óxido de la superficie de los metales. Segunda, calienta de manera más uniforme ya que, "envuelve" al tubo. Esto se logra aplicando la flama de tal manera, que la punta del cono blanco apenas toque el tubo. Tercera, se reduce el riesgo de sobrecalentar más en un solo punto como con las otras flamas.

Hay diferencias de temperaturas entre los diferentes tipos de flamas, al igual que en los diferentes gases combustibles, como se muestra en la tabla 15.31.

Se recomienda que para soldar tubos hasta de 1", no se emplee una flama demasiado fuerte, pues el calentamiento de la unión sería demasiado rápido y no se podría controlar fácilmente, con el peligro de una evaporación inmediata del fundente y oxidación del cobre, lo que impide que corra la soldadura. En medidas mayores de 1", puede emplearse una flama intensa, pues aquí no existe ese peligro. En diámetros de 3" a 4", será conveniente aplicar más calor.

Proceso para Soldar

Antes de todo, se debe tener la certeza del uso que va a tener la tubería, para saber el tipo de soldadura y de fundente que se va a emplear. Como ya mencionamos, existen soldaduras blandas a base de estaño y plomo y soldaduras fuertes de cobre y fósforo, y de aleaciones de plata. Las soldaduras blandas tienen puntos de fusión menores de 430°C, y las soldaduras fuertes tienen puntos de fusión mayores de 430°C. Las primeras se usan en instalaciones hidráulicas y las otras en el sistema de refrigeración.

La teoría básica y técnica de soldado, son las mismas para todos los diámetros. Las variables son: las cantidades requeridas de tiempo, calor y soldadura, para completar

una unión designada. Una buena unión es el producto de un técnico bien capacitado, que conoce y respeta los materiales y métodos que utiliza.

Los pasos básicos en el proceso de soldadura son los siguientes:

Medición - La medición del largo del tubo debe ser precisa. Si el tubo es muy corto, no alcanzará a llegar al tope de la conexión, y no se podrá hacer una unión adecuada.

Corte - El corte de un tubo puede hacerse de diferentes maneras, para obtener un corte a escuadra satisfactorio. El tubo puede ser cortado con un cortatubo, con una segueta, con disco abrasivo o con sierra cinta. Si se utiliza segueta, ésta debe ser de diente fino (32 dientes/pulgada) y deberá utilizarse una guía para que el corte sea a escuadra. Independientemente del método de corte que se utilice, el corte debe ser a escuadra, para que se pueda tener un asiento perfecto entre el extremo del tubo y el tope de la conexión, evitando fugas de soldadura. Se debe tener cuidado de no deformar el tubo mientras se está cortando.

Rimado - La mayoría de los métodos de corte, dejan rebabas en el extremo del tubo. Si éstas no se remueven, puede ocurrir erosión y corrosión, debido a la turbulencia y a la velocidad en el tubo. Las herramientas que se usan para rimar los extremos de los tubos son varias. Los corta tubos tienen una cuchilla triangular; se puede usar una navaja de bolsillo o una herramienta adecuada, como el rimador en forma de barril, el cual sirve para rimar el tubo por dentro y por fuera. Con tubo de cobre flexible, se debe tener cuidado de no ejercer demasiada presión, para no deformarlo. Un tramo de tubo rimado apropiadamente, tendrá una superficie suave para un mejor flujo.

Limpieza - La limpieza se hace fácil y rápida. Para que la soldadura fluya adecuadamente, es crucial que se remueva el óxido y la suciedad. Si esto no se hace, el óxido y la suciedad de la superficie pueden interferir con la resistencia de la unión y causar una falla.

La limpieza mecánica es una operación simple. El extremo del tubo deberá limpiarse utilizando lija de esmeril, lana de acero o fibra de nylon, en una distancia ligeramente mayor que la profundidad de la conexión. También deberá limpiarse la conexión por dentro, utilizando lija o cepillo de

alambre del tamaño apropiado. No use franela. Deben tenerse las mismas precauciones que con el tubo.

El cobre es un metal suave; si remueve demasiado material, quedará floja la conexión, interfiriendo con la acción capilar al soldar. El espacio capilar entre el tubo y la conexión, es aproximadamente de 4 milésimas de pulgada (0.004").

La soldadura puede llenar este espacio por acción capilar. Este espacio es crítico para que la soldadura fluya y forme una unión fuerte.

Se pueden utilizar limpiadores químicos, siempre y cuando se enjuaguen completamente la conexión y el tubo, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante del limpiador. Esto neutralizará cualquier condición ácida que pueda existir. Las superficies una vez limpiadas, no deberán tocarse con las manos o guantes grasos. Los aceites de la piel o lubricantes y la grasa, pueden impedir que la soldadura fluya y humedezca el tubo.

Rangos de Temperatura - Hasta este punto, los pasos para el proceso de soldadura son los mismos para soldaduras blandas y fuertes; la selección de uno u otro tipo, dependerá de las condiciones de operación. En la práctica real, la soldadura blanda se aplica a temperaturas entre 175 y 290°C, mientras que la soldadura fuerte se hace a temperaturas de entre 590 y 850°C.

Aplicación del Fundente - Para soldaduras blandas, decíamos que es indispensable el uso de fundente. En las soldaduras fuertes, algunas no requieren el uso de fundente para soldar cobre a cobre; en uniones de cobre a bronce y cobre a latón, sí se requiere fundente, al igual que en soldaduras con aleaciones de plata.

Los fundentes para soldaduras blandas son diferentes en su composición, a los de soldaduras fuertes, y no deben de intercambiarse. La función del fundente se explicó en el párrafo correspondiente.

Se debe aplicar una capa delgada y uniforme, con un cepillo o brocha; **NUNCA CON LOS DEDOS**, tanto a la parte exterior del tubo como al interior de la conexión.

Ensamble - Después de haber limpiado ambas superficies, y aplicado el fundente en forma adecuada, se deben ensamblar colocando la conexión sobre el tubo, asegurándose que el tubo siente bien contra el tope de la conexión. Se recomienda hacer un ligero movimiento giratorio hacia uno y otro lado, para asegurar la distribución uniforme de la pasta fundente. Retire el exceso de fundente con un trapo o estopa de algodón. Si se van a efectuar varias soldaduras en una misma instalación, se recomienda preparar todas las de un mismo día de trabajo. Se debe tener cuidado para asegurarse que las conexiones y tubos estén adecuadamente soportados, con un espacio capilar razonable y uniforme alrededor de la circunferencia completa de la unión. Esta uniformidad del espacio capilar asegurará una buena penetración de la soldadura.

Un espacio excesivo en la unión, puede provocar que la soldadura se agriete bajo una fuerte tensión o vibración.

Calentamiento - En este paso deben observarse las precauciones necesarias, debido a que se usan flama abierta y alta temperatura, aunado a la flamabilidad de los gases. El calor, generalmente se aplica con un soplete, aunque también se pueden utilizar tenazas eléctricas.

Los sopletes para soldaduras blandas, comúnmente operan a base de una mezcla de aire con algún combustible, tal como gasolina, acetileno o algún gas LP. Los sopletes para soldaduras fuertes utilizan una mezcla de oxígeno y algún combustible, debido a las altas temperaturas requeridas; el combustible puede ser cualquier gas L.P o acetileno. Recientemente, se han hecho innovaciones en las boquillas para aire/combustible, y ahora se pueden utilizar éstas en una más amplia variedad de tamaños, tanto para soldaduras blandas como para fuertes.

La operación de calentamiento empieza con un "precalentamiento", el cual se hace con la flama perpendicular al tubo, cerca de la entrada de la conexión. Este precalentamiento, conducirá el calor inicial hacia el interior de la conexión, para una distribución pareja por dentro y por fuera. El precalentamiento depende del diámetro de la unión; la experiencia le indicará el tiempo apropiado. La flama deberá moverse ahora hacia la conexión y luego hacia el tubo, en una distancia igual a la profundidad del conector. Toque la unión con la soldadura; si no se funde, retírela y continúe el proceso de calentamiento. Tenga cuidado de no sobrecalentar, ni de dirigir la flama al interior de la conexión. Esto puede quemar el fundente y destruir su efectividad. Cuando se ha alcanzado la temperatura de fusión, se puede aplicar calor a la base de la conexión, para ayudar en la acción capilar.

Aplicación de la Soldadura - Cuando se ha alcanzado la temperatura adecuada, si el tubo está en posición horizontal, comience a aplicar la soldadura en un punto como en el 4 de un reloj. Continúe en el 8, y luego en el 12. Regrese al 6, luego al 10, y finalmente al 2. La soldadura fundida será "jalada" hacia el interior de la conexión por la acción capilar, sin importar si ésta es alimentada hacia arriba, hacia abajo o en forma horizontal. En diámetros de tubería grandes, es recomendable golpetear levemente con un martillo en la conexión, mientras se está soldando, para romper la tensión superficial y que la soldadura se distribuya uniformemente en la unión.

Recuerde que la soldadura se debe fundir con el calor del metal. No la funda con la flama del soplete. Es muy importante que la flama esté en movimiento continuo, y no debe permitirse que permanezca demasiado en un punto como para que queme el tubo o la conexión.

Cuando se haya completado el proceso de soldadura, deberá quedar visible un anillo continuo alrededor de la unión. Si la soldadura falla en fluir o tiende a «hacerse bolas», indica que hay oxidación sobre las superficies metálicas, o el calor es insuficiente en las partes a unir.

Si la soldadura se rehusa a entrar en la unión y tiende a fluir sobre el exterior de cualquiera de las partes, esto indica que esa parte está sobrecalentada o que a la otra parte le hace falta calor.

Enfriamiento y Limpieza - Después que se ha terminado la unión, es mejor dejar enfriar en forma natural. Un enfriamiento brusco, puede causar un esfuerzo innecesario en la unión, y eventualmente, una falla.

Si la soldadura es blanda, el exceso de fundente debe limpiarse con un trapo de algodón húmedo.

Si la soldadura es fuerte, los residuos de fundente se deben remover lavando con agua caliente y cepillando, con cepillo de alambre de acero inoxidable.

Resumen - Si las partes a unir están adecuadamente preparadas, apropiadamente calentadas y si se usa la soldadura correcta, la unión final debe ser sana y firme. Los sistemas con tubería de cobre, cuando son instalados adecuadamente, proporcionarán años de servicio confiable y seguro. Con un entrenamiento adecuado sobre las técnicas de instalación correctas, como las expuestas aquí, le darán al técnico la habilidad de realizar uniones confiables y consistentes en todos los diámetros.