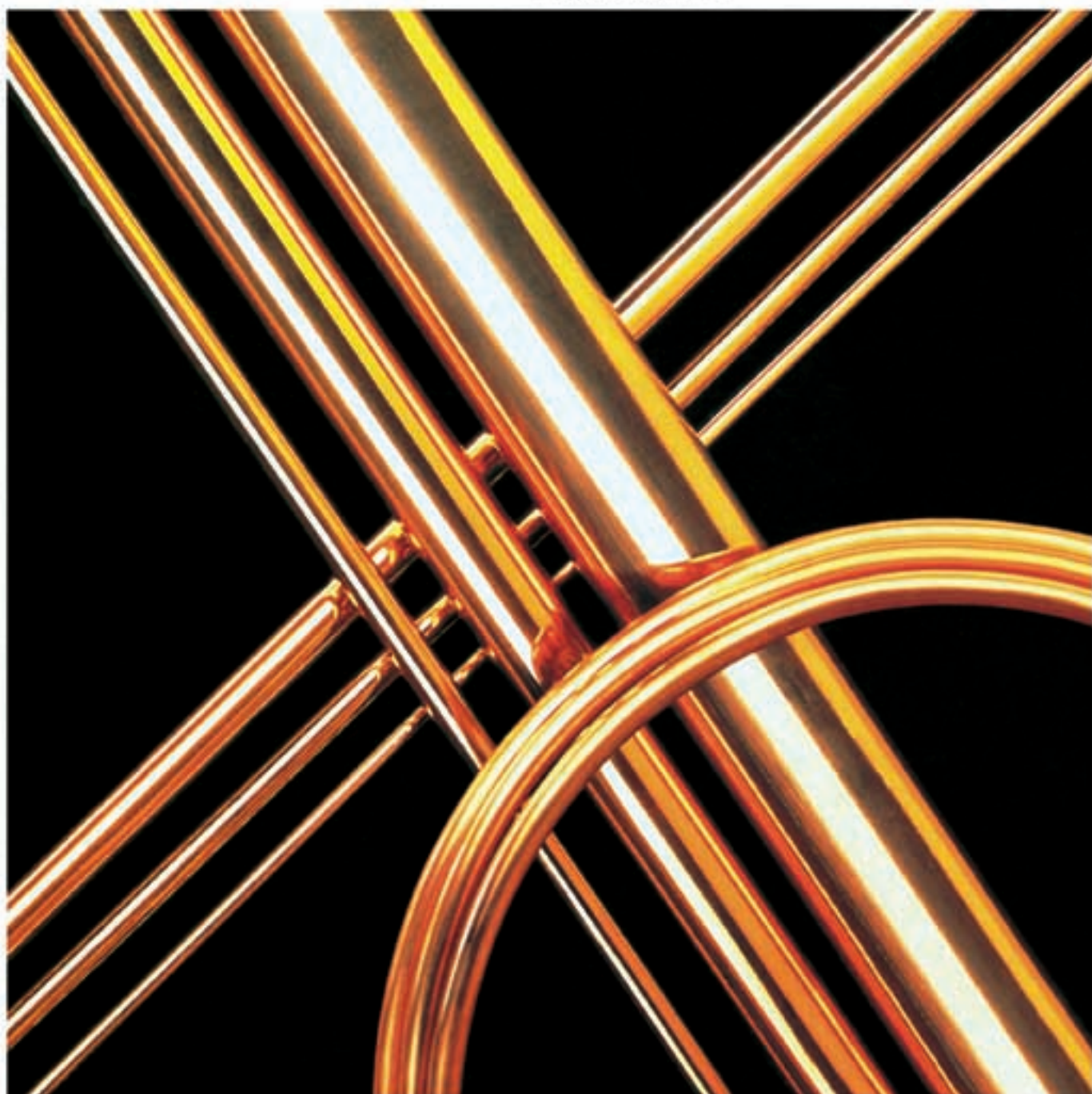


# TUBOS *de* COBRE

PRO  BRE  
La Conexión Vital.™



# TUBOS *de* COBRE

PRO  BRE  
La Conexión Vital.™

 PPER

*International Copper Association, Ltd.*

Copper Connects Life.™

# INDICE

	Página		Página
<b>INTRODUCCION</b>	<b>4</b>	<b>2.4 Aplicaciones de los tubos de cobre</b>	<b>31</b>
<b>PARTE 1. EL COBRE</b>	<b>5</b>	2.4.1 Aplicaciones en la construcción	31
1.1 <b>El cobre en la Historia</b>	<b>5</b>	2.4.2 Aplicaciones industriales	33
1.2 <b>Procesos productivos</b>	<b>5</b>	2.4.3 Areas de aplicación de los tubos de cobre	34
1.2.1 Presentación comercial del cobre	7	2.4.4 Recomendaciones para varios tipos de aplicaciones	35
1.3 <b>Tipos de cobre</b>	<b>7</b>	<b>2.5 Propiedades y ventajas de los tubos de cobre</b>	<b>36</b>
1.3.1 Composición química de los cobres comerciales y sus principales aleaciones	8	2.5.1 Ventajas del tubo de cobre	36
1.4 <b>Propiedades físico químicas del cobre</b>	<b>11</b>	<b>2.6 Clasificación de los tubos de cobre y de aleaciones</b>	<b>37</b>
1.4.1 Temple del cobre	13	2.6.1 Según método de fabricación	37
1.5 <b>Características tecnológicas del cobre</b>	<b>13</b>	2.6.2 Según composición química	38
1.5.1 Conformabilidad del cobre	14	2.6.3 Según propiedades físicas	38
1.5.2 Dilatación lineal del cobre	14	<b>2.7 Normas técnicas de fabricación de tubos de cobre</b>	<b>39</b>
1.6 <b>El cobre y la corrosión</b>	<b>14</b>	<b>PARTE 3. INSTALACIONES DE TUBOS DE COBRE</b>	<b>40</b>
1.6.1 Corrosión e incrustaciones	14	3.1 <b>Operaciones para instalación de tubos</b>	<b>40</b>
1.6.2 Corrosión generalizada	15	3.1.1 Curvado de tubos	40
1.6.3 Corrosión localizada, fenómeno de corrosión puntual (pitting)	15	3.1.2 Recocido	41
1.6.4 Corrosión por contacto galvánico entre metales diferentes	15	3.1.3 Corte del tubo	42
1.6.5 Corrosión por erosión	17	3.1.4 Ventajas del uso de herramientas	42
1.6.6 Corrosión por corrientes dispersas	17	<b>3.2 Uniones y accesorios para unión</b>	<b>42</b>
1.6.7 Corrosión por esfuerzo mecánico	19	3.2.1 Tipos de accesorios	42
1.6.8 Incrustaciones	19	3.2.2 Clasificación de los accesorios	42
<b>PARTE 2. EL TUBO DE COBRE</b>	<b>21</b>	3.2.3 Clasificación según forma geométrica	43
2.1 <b>Producción de tubos de cobre</b>	<b>21</b>	3.2.4 Clasificación según tipo de unión	43
2.2 <b>Tipos de tubos y sus características técnicas</b>	<b>22</b>	3.2.5 Clasificación según fabricación	43
2.2.1 Tipos de tubos de cobre	22	3.2.6 Accesorios o conexiones para soldar	44
2.2.2 Características técnicas de los tubos	25	3.2.7 Accesorios combinados o mixtos	44
2.3 <b>Productos comerciales</b>	<b>28</b>	3.2.8 Conexiones mecánicas. (Uniones americanas)	45
2.3.1 Tubos desnudos	28	<b>3.3 Denominación de los accesorios</b>	<b>46</b>
2.3.2 Tubos revestidos con PVC	29	3.3.1 Nombre de los extremos en función del tipo de acoplamiento	46
2.3.3 Tubos preaislados	30	3.3.2 Condiciones de servicio para accesorios unidos a tubos	47
2.3.4 Tubos preaislados para refrigeración y aire acondicionado	31	<b>3.4 Soldadura de los tubos de cobre</b>	<b>47</b>
2.3.5 Tubos para gases medicinales y terapéuticos	31	3.4.1 Soldadura blanda	47

	Página		Página
3.4.2	49	5.1.9	74
3.4.3	49	5.1.10	75
3.4.4	49	<b>5.2. Datos técnicos de los tubos de cobre sin costura</b>	<b>75</b>
<b>3.5. Tendido del tubo de cobre</b>	<b>50</b>	<b>5.3. Tubos de aleación</b>	<b>75</b>
<b>3.6. Dilatación térmica de tubos de cobre</b>	<b>51</b>	5.3.1	75
3.6.1	52	5.3.2	76
3.6.2	54	5.3.3	77
3.6.3	55	<b>5.4. Accesorios o fittings</b>	<b>78</b>
3.6.4	56	5.4.1	78
<b>3.7. Instalación práctica del tubo de cobre</b>	<b>57</b>	5.4.2	78
3.7.1	57	5.4.3	79
3.7.2	58		
3.7.3	59		
3.7.4	59		
<b>PARTE 4. EL COBRE Y EL AGUA POTABLE</b>	<b>60</b>	<b>Anexo 1:</b> Selección de tubos de cobre	<b>80</b>
4.1.1	60	<b>Anexo 2:</b> Cálculo y diseño de las instalaciones domiciliarias de agua potable	<b>82</b>
4.1.2	60	<b>Anexo 3:</b> Cálculo de tuberías de gas	<b>85</b>
4.1.3	60	<b>Anexo 4:</b> Cálculo de tuberías para rociadores	<b>91</b>
<b>4.2. Materiales plásticos. Consideraciones</b>	<b>62</b>	<b>Anexo 5:</b> Dimensionamiento de tubos de cobre para instalaciones de agua potable y sanitarias	<b>94</b>
4.2.1	62	<b>Anexo 6:</b> Pérdidas de carga en singularidades	<b>116</b>
<b>4.3. La calidad del agua potable</b>	<b>62</b>	<b>Anexo 7:</b> Lecturas y videos complementarios disponibles en PROCOBRE	<b>119</b>
4.3.1	62	<b>Anexo 8:</b> Normativas sobre estanques y equipos elevadores de presión	<b>120</b>
 		<b>Anexo 9:</b> Directorio de entidades certificadoras de calidad en Chile	<b>124</b>
<b>PARTE 5. PRODUCTOS QUE SE VENDEN EN CHILE</b>	<b>67</b>		
<b>5.1. Descripción de los productos</b>	<b>67</b>		
5.1.1	67		
5.1.2	68		
5.1.3	69		
5.1.4	70		
5.1.5	70		
5.1.6	71		
5.1.7	72		
5.1.8	73		

# introducción

El cobre por su fácil reciclaje y la larga duración de los objetos manufacturados con este material, es llamado el "metal eterno", conociéndose su uso ya en el tercer milenio antes de la era cristiana. Los tubos de **cobre** ya eran usados en Egipto para transportar agua para la bebida y efluentes sanitarios el año 2.720 A.C., conservándose tuberías de esa época en el Museo Británico.

En este trabajo se entenderá por tubo a un producto hueco, cuya sección puede ser redonda, cuadrada o de cualquier otra forma, que tiene una periferia continua y que es utilizado en fontanería y sistemas mecánicos para el transporte de fluidos, líquidos o gaseosos y como conductor en casos especiales de instalaciones eléctricas, como lo son las líneas a tierra.

Los tubos de **cobre** con sus características de material ligero, fuerte, adaptable y de alta resistencia a la corrosión muestran un envidiable comportamiento en residencias individuales, en edificios y condominios de varios pisos, en oficinas, locales comerciales e industriales. Es el material preferido para este tipo de instalaciones en los países desarrollados y que su uso es cada vez más frecuente en los países emergentes.

Los tubos de **cobre** se suministran en tiras y/o rollos en una amplia variedad de diámetros, largos y espesores de pared, así como en varias calidades de dureza. La clasificación por dureza de los tubos se denomina temple, pudiendo esta propiedad ir desde blando a extra duro.

Se puede diferenciar el concepto de tubos del de cañerías, al definir a estas últimas como tubos cuyas dimensiones están "normalizadas". El diámetro exterior de una cañería es igual al diámetro nominal más 1/8", según especificación de la norma NCH 951.

El material de los tubos puede ser **cobre** o aleaciones de **cobre** según sea la aplicación en que se utilizan.

Para aplicación en medios corrosivos como el agua salada se fabrican tubos de latón y de cuproníquel.

En esta publicación se pretende dar una visión general de los campos de aplicación de los tubos de **cobre** y de los tubos de aleaciones de **cobre**. Las recomendaciones que se enumeran en los siguientes capítulos son generales, debiéndose adaptar la que convenga a cada situación en particular.

Este trabajo ha recogido la experiencia volcada en las publicaciones de los **Centros de Promoción del Cobre** de diversos países y en especial los de Italia, España, Francia, Inglaterra, Canadá, Estados Unidos, Brasil y Chile, de los que recomendamos la lectura de sus publicaciones que se encuentran en el Centro de Documentación del **Centro Chileno de Promoción de Usos del Cobre**.





# PARTE I

## EL COBRE

### 1.1 El Cobre en la Historia.

Los primeros inicios del uso del cobre se remontan a fines del quinto milenio antes de Cristo, cuando poblaciones del Medio Oriente emplearon este metal, en estado puro, o ligado inicialmente al plomo y después al estaño en la aleación conocida como bronce, para fabricar armas, monedas y utensilios domésticos.

El uso del cobre y sus aleaciones fue de tal importancia que ese período se conoce como la "edad del bronce" en la historia de la humanidad.

Las primeras fuentes de cobre utilizada por el hombre fueron yacimientos superficiales de cobre nativo y minerales oxidados de alta ley fácilmente reducibles a cobre metálico. La minería del cobre más importante de la antigüedad se encontraba localizada en la isla de Chipre, de donde proviene la palabra latina "Cuprum" que dio origen al símbolo químico "Cu" que hoy día se emplea en casi todos los idiomas para designar al metal.

En la época del Imperio Romano se utilizaron tubos de cobre para el transporte de agua encontrándose restos de los mismos en buen estado de conservación en las ruinas de Pompeya.

En la actualidad el cobre es ampliamente utilizado en forma de alambres, barras, perfiles, tubos y laminas, los que se conocen como semifabricados y que son utilizados para la elaboración de productos finales de cobre, o que lo incorporan como parte de ellos.

Las características de estos productos y por lo tanto de los tubos derivan de las características y propiedades del cobre metálico, las que están relacionadas con los procesos metalúrgicos empleados en su producción. Por esta razón, analizaremos brevemente a continuación, algunos aspectos relacionados con la producción del cobre.

### 1.2 Procesos Productivos.

Las mayores reservas de mineral de cobre del mundo consisten en minerales sulfurados y de baja ley los que se benefician por medio de un proceso que comprende operaciones de extracción de mineral, reducción de tamaño, flotación, filtración, fusión a eje, conversión, refinación a fuego, colada de ánodos, refinación electrolítica, colada de cátodos, colada continua o semicontinua, producción de semifabricados, alambros, billets o planchas y elaboración de productos finales.

El material que finaliza su vida útil y los desechos son reciclados dando lugar a la producción de cobre secundario refinado.

Los minerales oxidados se trabajan en menor escala empleando el proceso de lixiviación tradicional, en el cual se ataca el cobre con soluciones de ácido sulfúrico diluido, obteniéndose soluciones de sulfato de cobre de las que el metal es precipitado empleando chatarra de hierro. En la actualidad, estas soluciones son purificadas empleando extractantes orgánicos, recuperándose el cobre de las soluciones puras de sulfato de cobre por medio de precipitación electrolítica, proceso conocido como extracción con solventes-electro obtención. (SX EW).

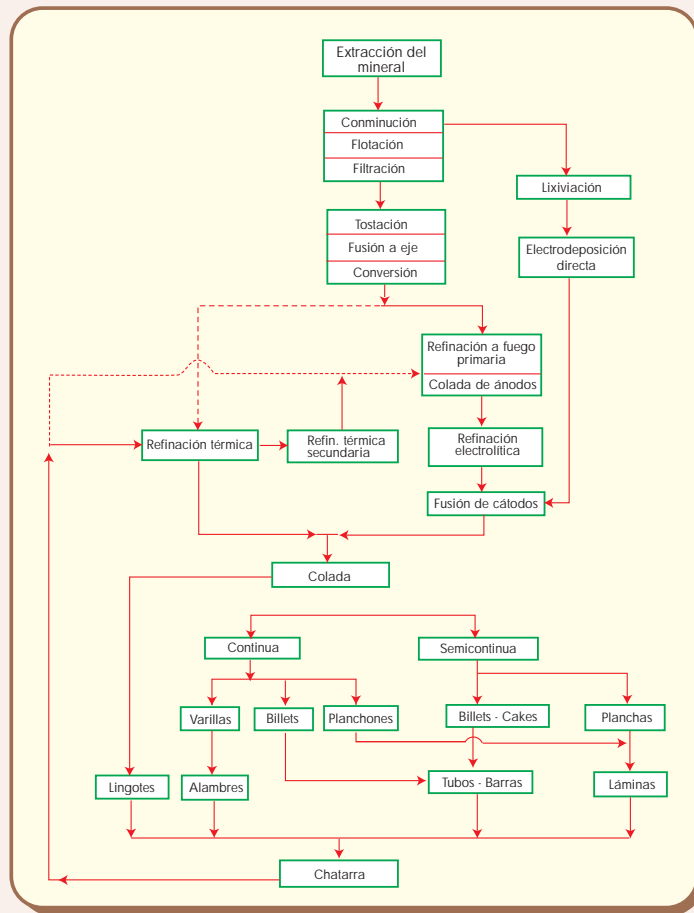


FIGURA I.1. diagrama del ciclo de producción del cobre

La producción mundial de cobre refinado alcanzó a 13.516.000 toneladas métricas en 1997, de las cuales 1.750.000 fueron producidas por extracción con solventes y electro obtención, 9.701.000 toneladas correspondieron a cobre primario y 2.065.000 toneladas a cobre secundario originado en el reciclaje de chatarra.

En la actualidad la mayor parte de la producción de cobre proviene de minerales sulfurados de baja ley los que una vez concentrados se funden para obtener una mata o eje rica en azufre y cobre. El azufre se elimina por oxidación al fuego obteniéndose así un cobre refinado " térmico " que contiene entre un 99,85% Cu siendo el resto oxígeno e impurezas.

La conductividad eléctrica de este cobre es mediana, del orden de un 85 a 95% unidades IACS. Internacionalmente se ha convenido que una conductividad 100% IACS (International Annealed Copper Standard) es igual a 58 m/ohm mm<sup>2</sup>. Mejorando las condiciones de refinación al fuego se obtiene el cobre refinado térmico de alta

conductividad, la que varía de 100 a 101,5% IACS con un contenido de cobre del 99,9%.

Sin embargo este cobre aún contiene oxígeno que es perjudicial para algunas aplicaciones, por lo que se prepara un cobre con la misma conductividad eléctrica, exento de oxígeno, con un contenido mínimo de 99,95% Cu. Este tipo de cobre es utilizado en aplicaciones especiales y por supuesto es más caro que el cobre corriente.

Para otras aplicaciones, como por ejemplo la fabricación de tubos, la conductividad eléctrica es de importancia secundaria, pero la presencia de oxígeno, sobre todo en la forma de óxido cuproso es altamente perjudicial. Para este tipo de usos el cobre es sometido nuevamente a un proceso de fusión con agregado de fósforo, el que es un poderoso desoxidante. Para asegurar la eliminación total del oxígeno se aplica un exceso de fósforo quedando el resto en el metal. Dependiendo del tenor de fósforo residual se distingue entre cobre desoxidado de alto contenido residual de fósforo y cobre desoxidado de bajo contenido residual de fósforo.

## 1.2.1 Presentación Comercial del Cobre.

**Productos moldeados.** Parte del cobre se utiliza en forma de piezas coladas, para lo cual el fundidor prepara la carga en lingotes los que pueden estar provistos de entalladuras para facilitar su troceado. También se preparan cargas de cátodos.

**Productos forjados.** La mayor parte del cobre se consume en forma de productos semifabricados que son: alambres, bandas, chapas, perfiles, barras y tubos. Estos semifabricados se producen a partir de las siguientes formas comerciales:

### a) Lingote para alambre (wire bar)

El lingote para alambre o barras para alambraón (wire bar) se destina a la laminación y a la trefilación y su sección es trapezoidal de altura variable entre 85 y 125 mm, longitud entre 1000 y 1350 mm y peso de 60 a 190 kg. El lingote para alambre se cuela en forma horizontal. También se produce por colada continua y en este caso es de sección cuadrada. En la actualidad en Chile ya no se produce.

### b) Placas o Planchones

Se destinan a la laminación de chapas o bandas, tienen sección rectangular y dimensiones variables. Su peso puede variar entre 65 y 1800 kg o más. Se producen por colada vertical u horizontal. También se producen por colada continua y semicontinua.

### c) Tochos

Se destinan al punzonado y a la extrusión seguidos por laminación y estirado. Tienen sección circular entre 75 y 250 mm y una longitud máxima de 1300 mm. El peso se encuentra generalmente entre 45 y 680 kg y se producen por colada vertical y también por colada continua y semicontinua.

en su definición. Las siglas con las cuales se individualizan estos tipos constan de dos partes, la primera, el símbolo químico Cu y la segunda está referida al proceso utilizado para la producción del tipo estandarizado. En general, se distinguen 6 tipos de cobres para la elaboración de tubos y los tipos más importantes son los denominados Cu-ETP y Cu-DHP. La Norma ASTM B 224 clasifica 21 tipos de cobre para diversos usos.

**Cu-ETP.-** Cobre electrolítico tenaz, (electrolytic tough pitch) es un cobre obtenido por refinación electrolítica y que ha sido tratado al fuego con troncos de pino o eucalipto.

**Cu-DHP.-** Cobre desoxidado con fósforo con alto residual de fósforo, (deoxidized high residual phosphorus) es un cobre totalmente desoxidado, el que contiene un tenor relativamente alto de fósforo para asegurar la desoxidación.

Se tiene además los siguientes otros tipos:

**Cu-DLP.-** Cobre desoxidado con fósforo con bajo tenor residual de fósforo, (deoxidized low residual phosphorus) es un cobre desoxidado que contiene un bajo tenor de fósforo.

**Cu-OF** Cobre electrolítico exento de oxígeno, (oxygen free )

**Cu-FRHC** Cobre refinado térmico de alta conductividad. (fire refined high conductivity)

**Cu-FRTP** Cobre refinado térmico tenaz (fire refined tough pitch)

También se utilizan aleaciones con bajo contenido de aditivos, menos de un 1% para ciertas aplicaciones especiales. Estos son llamados "cobres débilmente aleados". Los productos comerciales más usados son:

**Cu-DPA.-** Cobre desoxidado con fósforo, con arsénico.

**Cu-LSTP.-** Cobre tenaz con plata.

**CuOFS.-** Cobre exento de oxígeno con plata.

**CuS.-** Cobre azufre.

**CuTe.-** Cobre con telurio.

**CuCr.-** Cobre con cromo.

## 1.3 Tipos de Cobre.

La tecnología actual permite la producción de cobre de alta pureza, superior al 99,90%. Sin embargo, pequeñas cantidades de impurezas originan variaciones significativas en las características tecnológicas, lo que ha hecho indispensable caracterizar al cobre en función de su calidad. Las normas internacionales clasifican el cobre en diversos tipos y las composiciones químicas de estos tipos varían ligeramente según la norma utilizada

### 1.3.1 Composición Química de los Cobres Comerciales y sus Principales Aleaciones.

En la Tabla 1.1 se comparan las composiciones químicas de los tipos de cobre Cu-ETP y Cu-DHP de acuerdo con la norma chilena NCh 1339 Of 77, similar en este aspecto a la norma internacional.

**TABLA 1.1** Composición química del cobre Cu-ETP y Cu-DHP

	Cu + Ag mínimo	Bi máximo	Pb máximo	O <sub>2</sub> máximo	P
	%	%	%	%	%
Cu-ETP	99,90	0,001	0,005	0,04	–
Cu-DHP	99,90	0,001	0,01	–	0.015 a 0.040

*Fuente : NCh 1339*

En la Tabla 1.1. se observa que la diferencia entre los dos tipos de cobre ETP y DHP está dada por una pequeña cantidad de oxígeno y fósforo la que afecta la conductividad eléctrica que en la práctica se reduce en un 30% del Cu-DHP (de más alta conductividad) al Cu-ETP.

Es evidente que el cobre destinado a usos eléctricos debe tener la más alta conductividad, lo que no es relevante en el caso de la fabricación de tubos y accesorios para conexión de cobre. En este último caso la presencia de fósforo residual permite eliminar problemas de fragilidad en ambientes reductores, mejora las propiedades de deformabilidad plástica en frío y facilita el comportamiento a la soldadura.

Las normas chilenas NCh 951 y NCh 1.339 definen la composición de los tipos de cobre y de aleaciones que pueden utilizarse en la fabricación de tubos sin costura en la forma que se muestra en la Tabla 1.2

**TABLA 1.2** Composición química del cobre y de aleaciones empleadas en fabricación de tubos sin costura.

Descripción	Sigla	Composición química en %											Conductividad Eléctrica % IACS	
		Cobre y elementos de adición principales				Elementos de adición admisibles e impurezas máximas								
		Cu + Ag mínimo <sup>(1)</sup>	Ag	O <sub>2</sub>	P	Ag	As	Bi	Pb	Sb	Te	Total		
Cobre desoxidado con fósforo con bajo residuo de fósforo	CuDLP	99,93	–	0,00	0,005 a 0,012	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Cobre desoxidado con fósforo con alto residuo de fósforo	CuDHP	99,90	–	0,00	0,015 a 0,040	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Cobre electrolítico exento de oxígeno Grado 2	CuOF (G.2)	99,95	–	0,00	0,00	–	–	0,0010	0,005	–	–	0,03	–	101
Cobre electrolítico tenaz	CuETP	99,90	–	0,015 a 0,04	0,00	0,002	0,012	0,003	0,004	0,003	0,025	0,04 <sup>(5)</sup>	–	100
Cobre plata exento de oxígeno <sup>(4)</sup>	AuAgOF	99,95	máx. 0,002	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Cobre plata tenaz <sup>(2), (3) y (4)</sup>	CuAgTP	99,90	máx. 0,002	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Fuentes : NCh 951 y 1339

(1) A petición del comprador el contenido de plata no sobrepasa el 0,02% (30 onzas por tonelada). (2) En el comercio se distinguen cuatro tipos de cobre plata con las siguientes leyes mínimas de Ag: 0,025; 0,03; 0,05 y 0,07. (3) La conductividad eléctrica deberá ser igual o mayor a 100% IACS = 58 m/ohm mm<sup>2</sup>. (4) Los productos tenaces deberán tener un contenido de oxígeno controlado cuyo valor será de 0,015% a 0,040%. (5) Excluido plata y oxígeno

En Norteamérica se han normalizado los materiales para tubos de cobre y aleaciones, sin costura y soldados. Los códigos se designan por la letra C seguida de un número de cinco dígitos. En las Tablas 1.3 y 1.4 se encuentran las codificaciones y las composiciones químicas correspondientes.

**TABLA 1.3**

Materiales normalizados para tubos sin costura y soldados.

Designación ASTM	Material	Número UNS	Densidad g/cm <sup>3</sup>
<b>SIN COSTURA</b>			
B 68 y B75	Cobre	C10100	8.94
B 68 y B75	Cobre	C10200	8.94
B 68 y B75	Cobre	C10300	8.94
B 68 y B75	Cobre	C10800	8.94
B 68 y B75	Cobre	C12000	8.94
B 68 y B75	Cobre	C12200	8.94
B 75 (exclusivamente)	Cobre	C14200	8.94
B 135	Latón	C22000	8.80
B 135	Latón	C23000	8.75
B 135	Latón	C26000	8.53
B 135	Latón	C27000	8.47
B 135	Latón	C27200	8.44
B 135	Latón	C28000	8.39
B 135	Latón	C33000	8.50
B 135	Latón	C33200	8.53
B 135	Latón	C37000	8.41
B 466	Cobre Níquel	C70400	8.94
B 466	Cobre Níquel	C70600	8.94
B 466	Cobre Níquel	C71000	8.94
B 466	Cobre Níquel	C71500	8.94
B 466	Cobre Níquel	C72200	8.94
<b>SOLDADOS</b>			
B 543 y B 716	Cobre	C10200	8.94
B 543 y B 716	Cobre	C10300	8.94
B 543 y B 716	Cobre	C10800	8.94
B 543 y B 716	Cobre	C12000	8.94
B 543 y B 716	Cobre	C12200	8.94
B 543 y B 716	Cobre	C19400	8.77
B 543	Latón	C23000	8.75
B543	Latón	C44300	8.53
B543	Latón	C44400	8.53
B543	Latón	C44500	8.53
B543	Latón	C68700	8.53
B543	Cobre Níquel	C70400	8.94
B543	Cobre Níquel	C70600	8.94
B543	Cobre Níquel	C71000	8.94
B543	Cobre Níquel	C71500	8.94
B543	Cobre Níquel	C72200	8.94
B543	Cobre Níquel	C71600	8.94

TABLA 1.4

Composición química de materiales para tubos  
Clasificación UNS

Número UNS	Nombre Comercial	Cu %	P %	Te %	As %	Fe %	Zn %	Pb %	Sn %	Sb %	Al %	Ni %	Mn %
C10100	OFE	99.99	.0003	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C10200	OF	99.95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C10300	OFXLP	99.95	.001-.005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C10800	OFLP	99.95	.005-.012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C12000	DLP	99.90	.004-.012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C12200	DHP	99.90	.015-.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C14200	DPA	99.40	.015-.40	-	.15-.50	-	-	-	-	-	-	-	-
C19400	-	97.0	.015-.15	-	-	2.1-2.6	.05-.20	.03	-	-	-	-	-
C22000	Bronce	89.0 - 91.0	-	-	-	.05	Rem	.05	-	-	-	-	-
C23000	Latón	84.0 - 86.0	-	-	-	.05	Rem	.05	-	-	-	-	-
C26000	Latón	68.5 - 71.5	-	-	-	.05	Rem	.07	-	-	-	-	-
C27000	Latón	63.0 - 68.5	-	-	-	.07	Rem	.10	-	-	-	-	-
C27200	-*	62.0 - 65.0	-	-	-	.07	Rem	.07	-	-	-	-	-
C28000	Metal	59.0 - 63.0	-	-	-	.07	Rem	.30	-	-	-	-	-
C33000	Latón	65.0 - 68.0	-	-	-	.07	Rem	.25-.70	-	-	-	-	-
C33200	Latón	65.0 - 68.0	-	-	-	.07	Rem	1.5-2.5	-	-	-	-	-
C37000	Metal	58.0 - 61.0	-	-	-	.15	Rem	-	-	-	-	-	-
C44300	Almiran	70.0 - 73.0	-	-	.02-.06	.96	Rem	-	-	-	-	-	-
C44400	Almiran	70.0 - 73.0	-	-	-	.06	Rem	-	.8-1.2	.02-.10	-	-	-
C44500	Almiran	70.0 - 73.0	.02-.10	-	-	.06	Rem	.07	.8-1.2	-	-	-	-
C68700	Latón	76.0 - 79.0	-	-	.02-.06	.06	Rem	-	-	-	-	-	-
C70400	Cobre Niquel	Rem.	-	-	-	1.3-1.7	1.0	-	-	-	-	-	-
C70600	Cobre	Rem.	-	-	-	1.0-1.8	1.0	-	-	-	-	-	-
C71000	Cobre	Rem.	-	-	-	1	1.0	-	-	-	-	-	-
C71500	Cobre	Rem.	-	-	-	.40-1.0	1.0	-	-	-	-	-	-
C71640	-	Rem.	-	-	-	1.7-2.3	-	-	-	-	-	-	1.5-2.5
C72200	-	Rem.	-	-	-	.50-1.0	1.0	-	-	-	-	-	1.0

En Chile la Norma NCh 1.339 establece la composición química del cobre sin alear, de las aleaciones con alto contenido de cobre, de aleaciones cobre – zinc, y cobre – zinc – plomo,

cobre – estaño, cobre – estaño – plomo, cobre aluminio y otras misceláneas señalando en cada caso además de la composición, el número de código nacional y el equivalente ASTM.

## 1.4 Propiedades Físico Químicas del Cobre.

El cobre, número atómico 29, es el primer elemento del Sub grupo 1b de la tabla periódica, en el que se agrupan los metales nobles. El cobre es seguido por la plata y el oro con los que comparten estructuras electrónicas similares (configuración e 2:8:18:1) lo que le da a estos tres elementos una serie de características físico químicas análogas.

El cobre forma una serie de sales cuprosas ( $\text{Cu}^+$ ) y cúpricas ( $\text{Cu}^{++}$ ), estas últimas más estables que las anteriores.

En la serie electroquímica de los elementos que se muestra en la tabla 1.5 se observa que el cobre se encuentra en la proximidad inmediata de los metales más nobles, compartiendo con ellos algunas de sus propiedades características: el cobre no es atacado por los ácidos concentrados, oxidantes, y por lo tanto puede permanecer en contacto con estos ácidos sin consecuencias. También resiste ambientes fuertemente alcalinos y soluciones salinas. Como no se combina con diversos metales, menos nobles, no da lugar a problemas de corrosión. En la Tabla 1.6 se muestra el comportamiento del cobre al contacto con algunas sustancias.

Otra característica del cobre es su baja afinidad con el oxígeno a temperatura ambiente, lo que lo hace particularmente apropiado para las instalaciones de distribución de oxígeno medicinal y terapéutico.

**TABLA 1.5** Serie electroquímica de los elementos

Reacción electrolítica	Potencial estándar en Voltios a 25°C	Reacción electrolítica	Potencial estándar en Voltios a 25°C
$\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Au}$	1,50	$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}$	-0,74
$\text{Pd}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pd}$	0,987	$\text{Cr}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}$	-0,91
$\text{Hg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Hg}$	0,854	$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$	-0,763
$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$	0,800	$\text{Mn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}$	-1,18
$\text{Cu}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	0,521	$\text{Zr}^{4+} + 4\text{e}^- \rightarrow \text{Zr}$	-1,53
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	0,337	$\text{Ti}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ti}$	-1,63
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$	0,000	$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}$	-1,66
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}$	-0,126	$\text{Hf}^{4+} + 4\text{e}^- \rightarrow \text{Hf}$	-1,70
$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}$	-0,136	$\text{U}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{U}$	-1,80
$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}$	-0,250	$\text{Be}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Be}$	-1,85
$\text{Co}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Co}$	-0,277	$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mg}$	-2,37
$\text{Ti}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ti}$	-0,336	$\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}$	-2,71
$\text{In}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{In}$	-0,342	$\text{Ca}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ca}$	-2,87
$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cd}$	-0,403	$\text{K}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{K}$	-2,93
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	-0,440	$\text{Li}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Li}$	-3,05
$\text{Ga}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Ga}$	-0,53		

**TABLA 1.6** Resistencia del cobre al ataque por el contacto con algunas sustancias.

Agente agresivo	Comportamiento	Agente agresivo	Comportamiento
Acetileno	S	Cloruro de sodio	I
Acetona	E	Cloruro de zinc (sol)	A
Acido acético	I	Cloruro férrico (sol)	A
Acido bórico	E	Cloruro ferroso (sol)	I
Acido bromhídrico	S	Eter	E
Acido cianhídrico	S	Fenol	I
Acido cítrico	I	Freón	E
Acido clorhídrico	A	Gas natural	E
Acido fosfórico	S	Gasolina	E
Acido nítrico	S	Glicol etileno	E
Acido sulfhídrico (seco)	E	Glicol propileno	E
Acido sulfhídrico (húmedo)	E	Hidrocarburos (puros)	E
Acido sulfúrico 40 - 80 %	A	Hidrógeno	E
Agua de mar	A	Hidróxido de aluminio	E
Agua oxigenada	I	Hidróxido de amonio (sol)	S
Agua potable	E	Hidróxido de calcio (sol)	E
Alcohol etílico	E	Hidróxido de magnesio (sol)	E
Alcohol metílico	E	Hidróxido de potasio (sol)	I
Aluminato	I	Hidróxido de sodio (sol)	I
Alquitrán	E	Hipoclorito de calcio (sol)	I
Amoniaco (seco)	E	Hipoclorito de sodio (sol)	A
Amoniaco (húmedo)	S	Hiposulfito de sodio (sol)	I
Anhídrido carbónico (gas seco)	E	Leche	E
Anhídrido carbónico (gas húmedo)	I	Magnesia	E
Anhídrido sulfuroso (seco)	E	Nitrato de amonio (sol)	S
Anhídrido sulfuroso (húmedo)	I	Nitrato de sodio (sol)	I
Anilina	S	Petróleo	I
Asfalto	E	Oxígeno	e
Atmósfera industrial, marina	E	Parafina	e
Atmósfera rural	E	Propano	e
Azoe	E	Sal de mercurio	S
Barniz	E	Sal de plata	S
Benceno	E	Solución de jabón	E
Bencina	E	Silicato de sodio	E
Bicarbonato de sodio (sol)	I	Soda cáustica	I
Bicromato de sodio (sol)	S	Sulfato de amonio (sol)	A
Bisulfato de sodio	I	Sulfato de magnesio (sol)	E
Bisulfito de sodio	I	Sulfato de sodio (sol)	E
Bisulfuro de calcio (sol)	I	Sulfato de zinc (sol)	I
Butano	E	Sulfato férrico (sol)	A
Café	E	Sulfato ferroso (sol)	I
Cal viva	E	Sulfito de sodio (sol)	A
carbonato de sodio (sol)	I	Sulfuro de sodio (sol)	A
Cerveza	E	Solvente para barnices	E
Cloro (seco)	E	Tetracloruro de carbono seco	E
Cloro (húmedo)	A	Tetracloruro de carbono húmedo	I
Cloruro de amonio (sol)	S	Tolueno	E
Cloruro de calcio (sol)	I	Vapor de agua	E
Cloruro de calcio (húmedo)	I	Vinagre	I
Cloruro de magnesio (sol)	I		

E = Excelente ; I = Idóneo ; A = Aceptable ; S = No aconsejado ; (sol) en solución

En la Tabla 1.7 se encuentran resumidas algunas propiedades físicas del cobre desoxidado de alto fósforo Cu-DHP.

### 1.4.1 Temple del Cobre.

Se entiende por temple el estado o las propiedades mecánicas que presenta el cobre o sus productos, como el caso de los tubos, a consecuencia de los procesos utilizados en la producción. Estas propiedades se adquieren por deformaciones mecánicas, por tratamientos térmicos, o por la combinación de ambos factores y se conocen con los nombres de temple blando y temple duro en el caso de las cañerías. Existen además otros temples como el "light drawn" (ASTM B 75) y el "half hard" que se obtienen por diferentes grados de trefilado después de un recocido.

Temple blando es el que se obtiene a través de un tratamiento térmico llamado recocido, para lograr una recristalización y crecimiento de los granos, existiendo temples blandos totales y suaves que se

diferencian por el tamaño de grano que debe tener un promedio mínimo de 0,040 mm para tubos presentados en rollos y 0,025 mm para tubos en tiras rectas.

El engrosamiento del grano depende de la temperatura y el tiempo de recocido y debe ser controlado con análisis micrográfico durante la operación, para prevenir un fuerte engrosamiento de los granos que puede dar fragilidad al producto fabricado y producir roturas.

El temple duro se produce en los procesos de reducción de tamaño en frío, por extrusión o por laminado. En el caso de las planchas de cobre existen diferentes grados desde 1/8 duro hasta duro.

Los tubos de cobre se designarán de temple duro, semiduro o blando según el temple del material del que están fabricados. Este temple se debe dar en el acabado de las piezas porque una vez instaladas es imposible efectuar los tratamientos necesarios para modificarlo.

**TABLA 1.7** Propiedades físicas del cobre Cu-DHP

Densidad	8.94 g/cm <sup>3</sup>	8,94 · 10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup>
Temperatura de fusión	1.083 °C	1.356 K
Coefficiente de dilatación térmica lineal (25 a 100°C)	16,8 · 10 <sup>-6</sup>	1,68 · 10 <sup>-5</sup> K <sup>-1</sup>
Conductividad térmica	0,70 a 0,87 cal cm/cm <sup>2</sup> s °C	364 W/mK
Calor específico a 20°C	385 J/kg	
Calor latente de fusión	205 kJ/kg	
Límite de fluencia	221 a 379 MPa	
Límite de ruptura	60 a 345 MPa	
Módulo de elasticidad normal (Young)	12,2 · 10 <sup>4</sup> MPa	
Módulo de elasticidad tangencial (Cu recocido)	4,6 · 10 <sup>4</sup> MPa	
Elongación en 50 mm	45 - 8 % blando a extra duro	
Resistividad eléctrica	Inverso de la conductividad	2,53 a 1,91 · 10 <sup>4</sup> ohm m
Conductividad eléctrica	41 a 52 m/ohm mm <sup>2</sup>	68 a 90 % IACS
Temperatura de laminación perforante (Piercing)	815 a 870 °C	

### 1.5 Características Tecnológicas.

El cobre al igual que el oro y la plata, es notable por su ductilidad y maleabilidad, pudiendo ser transformado fácilmente a alambres y láminas extremadamente finas.

Las características de ductilidad y maleabilidad del cobre permiten que este metal sea capaz de experimentar profundas transformaciones plásticas,

pero ante todo, sus características tecnológicas más importantes son su aptitud para la elaboración secundaria por extrusión, laminación, trefilación, y fabricación de curvas y embocinados, su solubilidad en fase sólida que le permite unirse a otros metales para formar aleaciones y su facilidad para unirse con otras piezas de cobre o con otros metales por medio de soldadura.

En la Tabla 1.8 se resumen algunas de las principales características tecnológicas del cobre:

TABLA 1.8. Características tecnológicas del Cobre	
Intervalo de temperaturas de recocido	250 a 650 °C
Intervalo de temperatura de distensión	200 a 250 °C
Aptitud para elaboración en caliente	Buena
Aptitud para elaboración en frío	Optima
Comportamiento a la soldadura	
Soldadura suave	Optima
Soldadura fuerte	Optima
Soldadura oxiacetilénica	Buena
Soldadura al arco con electrodo de grafito	Buena
Soldadura al arco con atmósfera de gas inerte	Optima
Soldadura al arco con electrodo revestido	Escasa
Soldadura de resistencia	
- Por punto o continua	Mediocre
- Por cabeza	Buena

El coeficiente promedio de dilatación lineal del cobre el rango de temperaturas entre 20 y 100 °C es  $1,7 \cdot 10^{-5} \text{ cm} / (\text{cm})(^\circ\text{Celsius})$ , similar al del concreto, lo que permite instalarlo en el interior de este material sin que se produzcan tensiones originadas por cambios de temperatura que puedan conducir a roturas con las consiguientes pérdidas de fluidos.

Las instalaciones térmicas deben considerar juntas o uniones de expansión para compensar los cambios de longitud debido a las variaciones de temperatura.

Los diferentes tipos de juntas de expansión se estudiarán en el Capítulo 3.

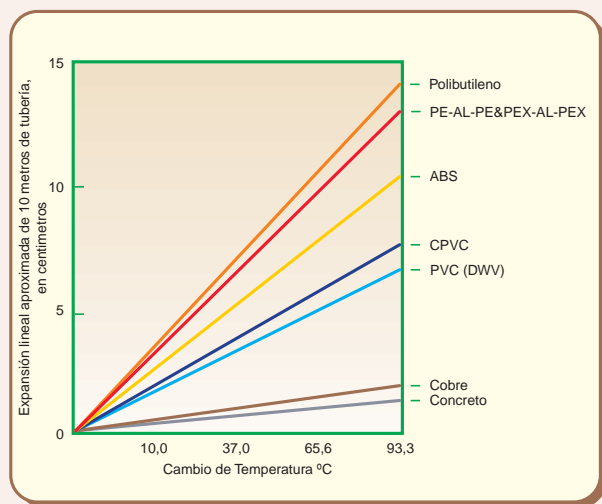


FIGURA 1.2. expansión lineal del cobre y los plásticos con la temperatura

### 1.5.1 Conformabilidad del Cobre.

El cobre es fácilmente conformable debido a sus propiedades de ductilidad y maleabilidad. Esto significa que los tubos de cobre pueden doblarse con facilidad, sobre todo cuando son de temple blando, para adaptarlos a las configuraciones de los edificios y de las instalaciones industriales.

### 1.5.2 Dilatación Lineal del Cobre.

Todos los materiales utilizados en la fabricación de tuberías, incluido el cobre, se contraen y expanden con los cambios de temperatura. En la Figura 1.2 se comparan las tasas de expansión de los tubos de cobre con varios tipos de tubos de plástico, utilizando el hormigón como punto de comparación. Está claro que la expansión y contracción del cobre es significativamente menor que la de los productos plásticos.

## 1.6 El Cobre y la Corrosión.

### 1.6.1 Corrosión e Incrustaciones.

La resistencia del cobre a la corrosión cuando está en contacto con el agua potable se explica por la posición que tiene en la tabla periódica, su posición en la serie electroquímica de los elementos y la afinidad que muestra por el oxígeno.

La definición internacional de la corrosión es la siguiente:

“La reacción de un metal con el ambiente que lo rodea, que origina un cambio cuantificable del mismo, o que puede provocar un daño en el metal o en todo el sistema. Esta reacción es principalmente

de naturaleza electroquímica y puede estar asociada a fenómenos del tipo corrosión - erosión. las modificaciones mencionadas causadas por este fenómeno son los síntomas de la corrosión” .

### 1.6.2 Corrosión Generalizada.

La corrosión uniforme o generalizada se produce en toda la superficie del metal, originando una degradación uniforme de la estructura metálica.

Cuando se pone en operación una instalación de tubos de cobre, el oxígeno disuelto en el agua se combina con el cobre de la pared del tubo formando un estrato continuo de óxido de cobre ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), que con el tiempo, reaccionando con otras sustancias químicas presentes, tales como el carbonato de calcio (y en menor escala con cloruros y sulfatos) se transforma en carbonato básico de cobre. La capa puede contener fosfatos y silicatos y también algún compuesto de aluminio y hierro, posee una coloración verde celeste, es insoluble y sirve para proteger al tubo gracias a su propiedad pasiva.

Durante esta primera fase se tiene una liberación de iones de cobre, los que se reducen progresivamente con la formación del estrato protector.

Esta liberación es una función de las características superficiales del material, de las características intrínsecas del agua y de las condiciones de trabajo. En la Tabla 1.6 de la página 17 se muestra una evaluación indicativa de la resistencia del cobre a la corrosión.

### 1.6.3 Corrosión Localizada, Fenómeno de Corrosión Puntual, (Pitting).

En la serie electroquímica de los elementos, que expresa la tendencia a la corrosión de los diferentes metales, el cobre ocupa una posición privilegiada correspondiente a los metales nobles por su resistencia al ataque de parte de los materiales agresivos más comunes, con los cuales puede estar en contacto

Esta es una de las razones por las cuales en los países desarrollados el cobre ha desplazado al plomo y al acero en las instalaciones para la conducción de aguas potables y sanitarias.

El mayor costo del metal resulta compensado por el menor espesor del tubo lo que implica una mayor

longitud por unidad de peso. Además la facilidad para conformar los tubos de cobre economiza uniones y accesorios, con un menor costo de mano de obra en la instalación.

Estas ventajas han conducido a la instalación de cientos miles de kilómetros de tuberías de cobre. Sin embargo, se ha encontrado en forma esporádica en algunas zonas de ciertos países, como el norte de Italia, un fenómeno de corrosión puntual o “ pitting ” que se manifiesta en la forma de perforaciones en el tubo como si fueran hechas con un punzón.

Dadas las rigurosas exigencias de confiabilidad del material, este fenómeno ha sido objeto de numerosos estudios e investigaciones con el fin de resolverlo.

La causa de la reciente aparición de este fenómeno se ha atribuido a la creciente contaminación del agua debida a polución por desechos industriales y por el aumento del uso de fertilizantes en la agricultura, los que han contribuido a la contaminación de las capas freáticas, las que lenta pero inexorablemente están siendo contaminadas por nitratos, cloruros, sulfatos, fosfatos, etc.

La distribución del agua se encuentra fuertemente influenciada por el fenómeno de agresividad que repercute sobre el material con el cual está en contacto.

La contaminación creciente que muestra el agua potable ha contribuido a la aparición del fenómeno de corrosión puntual, el que aparece en las regiones altamente industrializadas donde es mayor la contaminación.

Se ha encontrado que la forma de controlar este problema consiste en mejorar la calidad del tubo de cobre eliminando las impurezas del mismo. Este problema de “ pitting ” ha sido prácticamente eliminado con la introducción del tubo de cobre exento de impurezas carbonosas.

### 1.6.4 Corrosión por Contacto Galvánico entre Metales Diferentes.

Cuando dos metales de diferente naturaleza se acoplan de manera de formar una unión eléctrica y se exponen a la acción de un ambiente agresivo ocurre que mientras la velocidad de corrosión del metal menos noble aumenta, la velocidad de corrosión del metal más noble disminuye. Además la

intensidad aumenta cuando aumenta la diferencia de nobleza entre los metales o sea el potencial electroquímico de los dos metales.

El mecanismo de reacción puede esquematizarse como se muestra en la Figura 1.3, donde la corrosión afecta a la barra de zinc.

El ambiente agresivo es frecuentemente un líquido conductor o electrolito, capaz de transportar cargas eléctricas, como por ejemplo el agua, cuya conductibilidad muy variable, dependiendo de las sales disueltas, determina la intensidad y la extensión de la zona atacada. Para evaluar en términos prácticos la influencia de este factor se puede decir que el efecto de la cople galvánica es relevante a una distancia del punto de contacto de un milímetro, un centímetro o un metro, según si se trata de agua destilada, agua potable o agua de mar.

El fenómeno de la corrosión por contacto ha sido utilizado para proteger estructuras metálicas empleando ánodos de sacrificio o acero con revestimiento de zinc, (acero galvanizado). En este caso debe recordarse que en determinadas condiciones ambientales este tipo de protección puede ser un error, en efecto a 60°C el zinc puede recubrirse de una capa de óxido sumamente adhesiva, que lo hace más noble que el acero mismo.

Debe hacerse notar que en ausencia de oxígeno el fenómeno de la corrosión es prácticamente inexistente y por lo tanto la posición recíproca cobre – otro metal no tiene influencia.

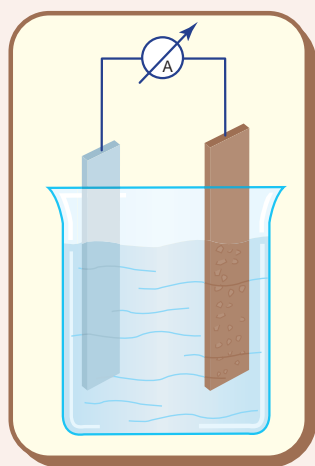


FIGURA 1.3.

esquema explicativo de la corrosión por efecto galvánico

De aquí se deduce que deben analizarse por separado los dos casos prácticos de ocurrencia más común que son:

### Instalaciones de agua caliente Instalaciones de distribución de agua potable

En el primer caso, el fluido usado es agua prácticamente exenta de  $O_2$  porque la temperatura de operación entre 70 y 85°C favorece el equilibrio físico, reduciendo la presión parcial del gas cuyo contenido queda limitado a fracciones de ppm. Además, cuando se pone en marcha una instalación de este tipo se elimina el oxígeno mediante el agregado de hidrato de hidrazina o de sulfito de sodio catalizado con óxido de cobalto.

Por lo tanto, se puede afirmar que en instalaciones de agua caliente no se presentará el fenómeno de corrosión por contacto.

Para el agua potable fría, que siempre debe contener oxígeno disuelto hasta el punto de saturación, la instalación de tubos de cobre debe tener en cuenta la existencia de tubos de acero galvanizado para evitar que aparezca la corrosión. La velocidad con que ocurre este fenómeno se encuentra influenciada por algunos factores como:

- La dirección del flujo, del acero galvanizado al cobre, arrastra productos de disolución del metal menos noble y los pone en contacto con el tubo de cobre con algún peligro para la pared de este último. Por el contrario, el producto de disolución del cobre puede resultar catódico frente al zinc.
- La localización de las áreas anódicas, acero galvanizado y catódicas, cobre, debe ser oportunamente separada por medio de un separador que en relación con la conductividad del agua introduzca una resistencia eléctrica tal que anule la velocidad de corrosión. El separador puede ser una unión dieléctrica que interrumpe el circuito eléctrico de la Figura 1.4 ó un accesorio de aleación que reduce la diferencia de potencial electroquímico del acoplamiento (zinc – latón – cobre).

– La relación entre el área ( $S_1$ ) del metal electroquímicamente más noble (catódico) al área ( $S_2$ ) del metal menos noble (anodino). Cuanto más baja es esta relación, menor es la densidad de corriente que actúa y menor es la velocidad de corrosión. En este último caso, la situación más

peligrosa está dada por la instalación de un tubo de cobre mediante un elemento de pequeñas dimensiones de acero, en cuyo caso la corrosión por contacto tendrá efectos devastadores en breve tiempo. En la práctica se puede incurrir en este riesgo instalando distanciadores o alargadores de acero para conectar calderas o grifos a tubos de cobre. Al contrario el uso de distanciadores, válvulas y otros elementos de latón es perfectamente compatible con el tubo de cobre puesto que el potencial electroquímico del latón es comparable con el del cobre y también con el del tubo de acero gracias a la relación favorable entre las áreas de los elementos en contacto.

### 1.6.5 Corrosión por Erosión.

La corrosión por erosión es una forma de corrosión que se manifiesta por daño del material metálico provocado por el movimiento relativo entre el ambiente corrosivo y el metal. Es provocada por el fenómeno de cavitación, por abrasión y por choque de líquidos que contienen burbujas de gas.

La corrosión por erosión se caracteriza por la formación de surcos, canales, ondulaciones, cráteres y generalmente tiene un curso orientado en determinadas direcciones.

El fenómeno de la corrosión por erosión se aprecia en correspondencia con cambios bruscos en la sección de las tuberías, con curvas muy estrechas con deformaciones o con asperezas que han quedado después de la instalación como producto de soldaduras mal hechas. También se produce como consecuencia de fenómenos que producen

cavitación en el interior del tubo. Para prevenir la cavitación debe ponerse especial cuidado en el proyecto y en la instalación de los tubos.

El parámetro más importante es la velocidad del fluido la que debe ser suficientemente baja. Generalmente, los valores máximos admisibles son:

Para agua fría 2 m/s  
Para agua caliente 1,3 m/s

Las sustancias sólidas en suspensión agravan este problema de manera que cuando son detectadas debe procederse a una filtración adecuada del líquido.

### 1.6.6 Corrosión por Corrientes Dispersas

Este proceso de corrosión es provocado por corrientes eléctricas continuas que actúan sobre el metal imponiéndole un comportamiento anódico similar a la disolución en un electrolito. Es evidente que a causa de la peligrosidad de este fenómeno, la circulación incontrolada de corrientes eléctricas por tuberías y estructuras metálicas, ocurre solo en forma accidental.

Se define como corrientes dispersas o errantes a aquellas corrientes que por deficiencia en la aislación abandonan el circuito y se dispersan en el terreno hasta que encuentran otras estructuras metálicas que en definitiva pasan a ser conductores secundarios.

El caso más frecuente se muestra en la Figura 1.4

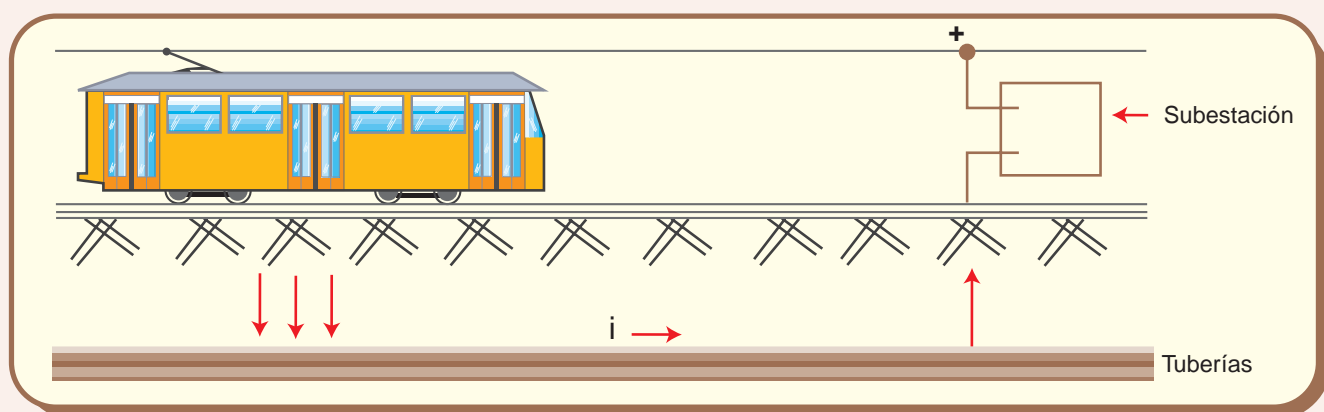


FIGURA 1.4. corrosión por corrientes dispersas

La corriente eléctrica después de haber recorrido un tramo de la estructura conductora secundaria la abandona. La corrosión se produce en el punto donde ello ocurre.

El caso real más frecuente es el que se muestra en la figura 1.5. En realidad la dispersión de corriente toma lugar en la zona más ancha de manera que no se produce una corrosión apreciable en la estructura, por ejemplo los rieles, en tanto que el escape desde la tubería está localizado generalmente en un punto donde la cubierta protectora del tubo de cobre tiene algún defecto y por consiguiente el tubo se perfora en ese lugar con una morfología muy característica. El tubo se perfora desde el exterior formando un cráter cónico cuyo vértice se dirige hacia el interior.

En líneas generales se puede considerar un circuito eléctrico como el que se tiene en la figura 1.5 en el cual:

- $I$  = corriente eléctrica que recorre el riel
- $i$  = corriente eléctrica que recorre la tubería
- $R_r$  = resistencia eléctrica del riel
- $R_t$  = resistencia eléctrica de la tubería
- $R_1$  = resistencia eléctrica del terreno en zona 1
- $R_2$  = resistencia eléctrica del terreno en la zona 2

Considerando que la acción corrosiva es directamente proporcional a la corriente eléctrica, (Ley de Coulomb) y que esta última está dada por:

$$I = I \cdot R_r / (R_1 + R_t + R_2)$$

Se deduce que para valores constantes de otros parámetros, mientras menor sea la resistencia eléctrica del terreno (mayor conductividad), tanto mayor será la corrosión, que actuando como se ha dicho sobre una pequeña superficie, penetrará rápidamente.

Si pasamos a analizar el caso de la instalación térmica con tubos de cobre se puede afirmar que existen importantes factores que limitan notablemente la peligrosidad del fenómeno de corrosión por corrientes dispersas.

- a) en las casas habitación no se utiliza corriente continua y la corriente alterna produce efectos prácticamente irrelevantes.
- b) la resistencia eléctrica ofrecida por la masa de hormigón en la cual se encuentra encerrada la tubería dentro de un edificio es decididamente superior a la que tiene el terreno.
- c) la resistencia completa del circuito secundario puede ser incrementada notablemente si se emplean tuberías de cobre revestidas en plástico como PVC o polietileno expandido.
- d) en algunos países (Norma CEI 64-8) la entubación debe estar conectada equipotencialmente a una instalación de puesta a tierra eficiente que descargue la corriente a través de un conductor apropiado.

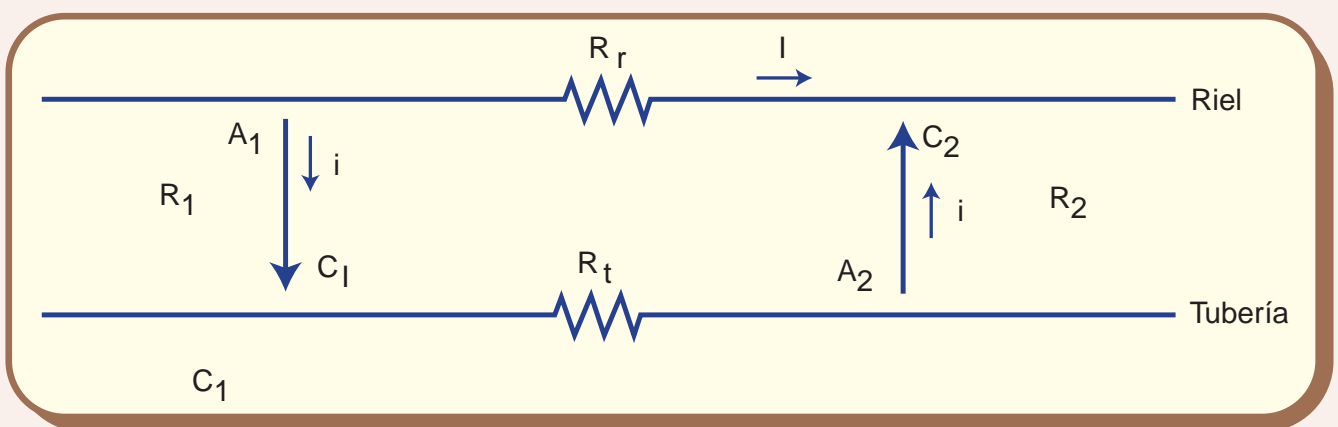


FIGURA 1.5.

esquema eléctrico del proceso de corrosión por corrientes dispersas

Por último cabe hacer notar que la experiencia en los últimos 30 años en aquellos países que utilizan sistemas de transporte movidos con motores eléctricos de corriente continua, es que la corrosión por corrientes dispersas en el interior de edificios ha aparecido solo esporádicamente y que no es determinante en el momento de elegir el tipo de material de una tubería.

### 1.6.7 Corrosión Por Esfuerzo Mecánico

La corrosión por esfuerzo mecánico o cuando el material está sometido a sollicitaciones, actúa en forma particularmente insidiosa puesto que puede producir el colapso del elemento metálico sin que se muestren señales relevantes que éste haya sido atacado por corrosión. Por ejemplo: depósitos de productos originados por corrosión o deformaciones geométricas evidentes en la entubación o en el equipo.

Este tipo de corrosión se desarrolla por la acción combinada de un ambiente corrosivo específico, aunque muy débil, y de una tensión mecánica que somete a la pieza a un estado de esfuerzo. Esta última puede ser provocada por tensiones internas residuales originadas por las deformaciones plásticas a que fue sometido el metal para formar la pieza, como son la trefilación, la laminación, el estampado en frío, etc.

La corrosión bajo esfuerzo es un fenómeno muy común y prácticamente ningún material metálico de uso tecnológico común está inmune a ella cuando se pone en contacto con algún ambiente corrosivo específico.

La propensión al desarrollo de este fenómeno está influenciada por un gran número de factores, también metalúrgicos, de manera que es imposible formular una ley de validez general. En efecto, el cobre, como todos los otros metales, no debería ser atacado si el metal tiene una pureza superior al 99,999%.

Por el contrario, la calidad comercial hace posible que este fenómeno ocurra bastante más frecuentemente.

Todavía es posible indicar caso por caso la posibilidad que se presente este tipo de corrosión. En el caso del cobre, el factor más importante es el

medio ambiente: El amoníaco es el compuesto químico que puede provocar la corrosión por tensión cuando se tiene un ambiente húmedo y en presencia de oxígeno. En efecto, cuando el amoníaco se encuentra anhidro, es decir completamente desprovisto de agua, sea en estado líquido o gaseoso, no produce corrosión apreciable ni daño en el cobre

Se han efectuado pruebas con una duración de 1.200 horas, a temperatura ambiente y a presión atmosférica que han provocado una penetración media de 5 micrones por año. Por lo tanto el cobre resulta apto para el contacto con el amoníaco perfectamente seco, que no está contaminado con agua.

Sin embargo, las soluciones de hidróxido de amonio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ), atacan rápidamente al cobre debido a la formación de un compuesto complejo soluble cuproamoniacal.

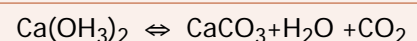
La tenso corrosión induce en el metal la formación de grietas muy pequeñas que se propagan con una orientación prácticamente perpendicular a la dirección de la tensión mecánica y con una corrida de grietas de tipo intergranular siguiendo el borde del grano cristalino.

Los revestimientos plásticos pueden desprender amoníaco o compuestos amoniacales que atacan químicamente el cobre. Por lo tanto la vaina debe ser de productos que no tengan base de amoníaco o que hayan sido tratados adecuadamente para desprender completamente estas sustancias.

### 1.6.8 Incrustaciones.

El agua natural contiene sales disueltas en cantidades variables. Entre ellas se encuentra el carbonato de calcio que determina la dureza del agua.

Las incrustaciones se forman cuando en el agua natural que está en contacto con una superficie de cualquier tipo, se produce la siguiente reacción de carácter general:



El equilibrio bicarbonato (soluble) con carbonato (insoluble) que se alcanza puede ser modificado, ya

sea cambiando el pH de la solución, o cambiando la concentración de uno cualquiera de los compuestos presentes en la reacción.

La influencia del pH puede ser evaluada si se conoce la temperatura y la dureza del agua mediante el Índice de Langelier:

$$\text{Índice Langelier} = \text{pH} - \text{pH}_s$$

Donde  $\text{pH}_s$  es el pH de la solución calculado para una concentración de  $\text{Ca}^{++}$  para llegar a la saturación. Si el valor de la diferencia resulta ser positivo, se tiene precipitación y el agua resulta incrustante.

La eliminación del  $\text{CO}_2$  o el aporte de nuevo bicarbonato por el agua corriente, mueve la reacción hacia la precipitación.

También el aumento de la temperatura influye en el equilibrio químico haciendo precipitar el carbonato de calcio. Como consecuencia de esto en una

instalación hidro termo sanitaria, la mayor parte de las incrustaciones se producirán en la zona de calentamiento, o sea, en los serpentines de la caldera de manera que, habiendo cedido el agua en esta parte casi todo su carbonato, las tuberías de transporte de agua caliente no son afectadas mayormente por este fenómeno.

Por el contrario, en el caso de los tubos para conducir agua fría, la precipitación se puede desarrollar sin llegar a la oclusión del tubo, si no intervienen factores limitantes como el óxido cuproso, que, a diferencia del óxido de hierro, tiene una limitada afinidad química con el anhídrido carbónico y por lo tanto al mantener inalterada la concentración de este compuesto obstaculizará la precipitación de carbonato de calcio.

Además, la superficie lisa de la pared interna del tubo de cobre (con una rugosidad 1/30 de la del hierro), no permite que las eventuales precipitaciones de carbonato de calcio se fijen sobre la pared misma y facilitan el escurrimiento y su eliminación.

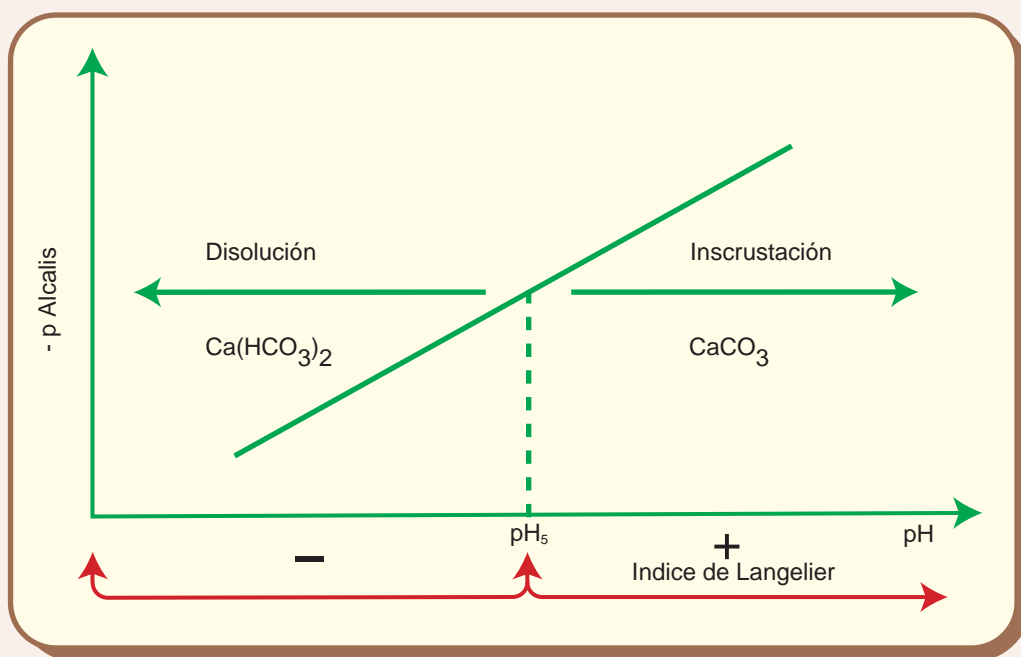


FIGURA 1.6. diagrama de la variación del índice de Langelier

# PARTE 2

## EL TUBO DE COBRE

### 2.1 Producción de Tubos de Cobre.

El metal, por lo general una mezcla de cobre refinado y de chatarra de calidad controlada, se funde en un horno y por medio de la colada de cobre se obtienen lingotes conocidos como "billets" los que tienen forma cilíndrica, con dimensiones que generalmente son 300 mm de diámetro y 8 m de largo, y que pesan aproximadamente 5 toneladas métricas.

Estos bloques metálicos se utilizan para la fabricación de los tubos sin costura por medio de una serie de deformaciones plásticas utilizando el ciclo de producción que se muestra en la figura 2.1. Las etapas son las siguientes:

**Corte.** En primer lugar los billets se cortan en piezas de alrededor de 700 mm de largo, teniendo en cuenta la capacidad de las instalaciones de producción de la planta.

**Calentamiento.** A continuación se calienta el billet, operación que se efectúa en un horno de túnel a una temperatura entre 800 y 900°C. Aquí, el metal alcanza un mayor grado de capacidad de deformación plástica, con lo que se reduce la presión necesaria para las siguientes operaciones de transformación.

**Extrusión.** En esta operación se obtiene en una sola pasada una pieza o pretubo de gran diámetro con paredes muy gruesas. En la práctica el extrusor es

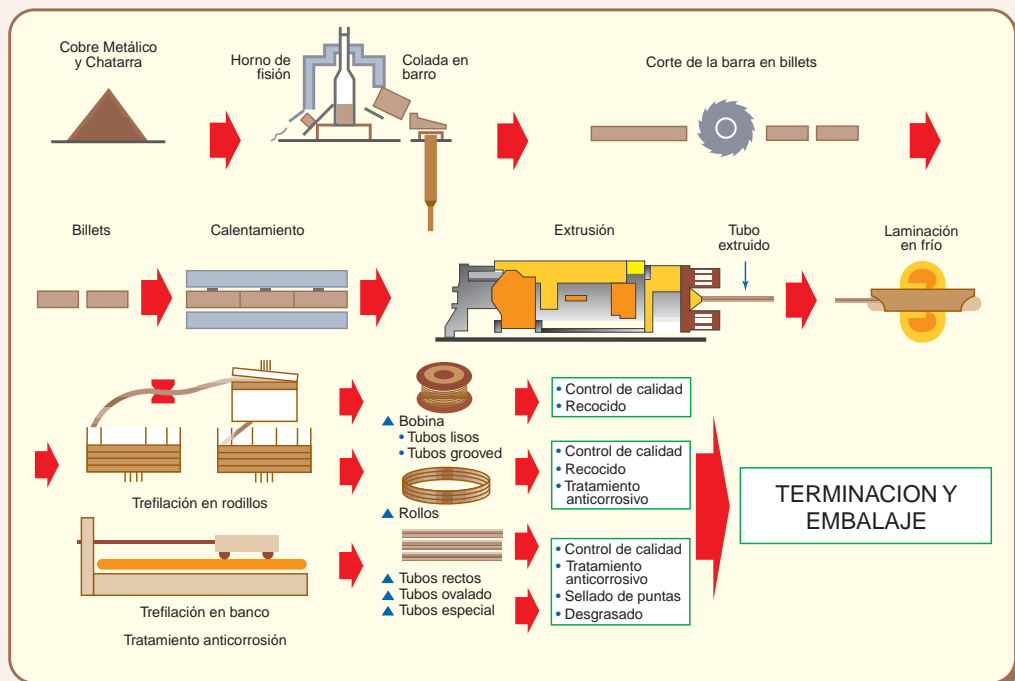


FIGURA 2.1. ciclo de producción de los tubos de cobre sin costura

una prensa en la cual el billet previamente recalentado es forzado a pasar a través de una matriz calibrada. El pistón que ejerce la presión tiene un mandril que perfora el billet. Como esta operación se efectúa a alta temperatura, el cobre experimenta una oxidación que perjudica las operaciones posteriores las que se efectúan en atmósferas controladas con enfriamiento rápido, para impedir la oxidación superficial del pretubo.

**Laminación.** Es una operación "en frío" que consiste en pasar el pretubo a través de dos cilindros que giran en sentidos contrarios. Además del movimiento rotatorio los dos cilindros tienen un movimiento de vaivén en sentido longitudinal, en tanto que el pretubo al cual se ha insertado un mandril avanza en forma helicoidal. Con esto se obtiene una reducción en el espesor de la pared del tubo manteniéndose la sección perfectamente circular. La operación de laminación en frío produce tubos de alta dureza llamados también de temple duro.

**Trefilado.** La reducción sucesiva de diámetros para obtener los diversos productos comerciales se efectúa en una operación en frío llamada trefilado que consiste en estirar el tubo obligándolo a pasar a través de una serie de matrices externas y de un calibre interno conocido como mandril flotante.

La operación industrial se efectúa en una máquina llamada "bull block" donde la extremidad del tubo está apretada por una mordaza montada en un cilindro rotatorio que produce la tracción.

**Recocido.** La deformación plástica en frío origina un endurecimiento del metal que trae como consecuencia una pérdida en la plasticidad. Los sucesivos trefilados aumentan este endurecimiento y dan lugar a un mayor peligro de rotura del tubo. Por esta causa se emplea un tratamiento térmico llamado recocido, para la recristalización del cobre que permite recuperar las características de plasticidad.

**Acabado.** Al final del ciclo de producción se obtiene un tubo recocido, presentado en rollos, de alta calidad. A estos tubos se les puede aplicar un revestimiento externo de protección o aislante para diversos usos, o efectuar un acabado interno muy liso para aplicaciones especiales.

**Control de calidad.** El tubo terminado se somete a pruebas para determinar imperfecciones, siendo

usuales las de inducción electromagnética por corrientes de Foucault, que permiten detectar grietas y otras imperfecciones en el interior de la pared del tubo.

**Embalaje.** Los tubos de cobre recocidos o de temple blando se presentan en rollos que son embalados cuidadosamente para evitar deformaciones producidas por los movimientos. Los tubos laminados en frío de temple duro se presentan en tiras, generalmente de 6 metros de largo las cuales se empaquetan en atados para su transporte a los lugares de uso. Como los tubos de cobre no experimentan envejecimiento por acción de los rayos ultravioleta, el ozono u otros agentes químicos y físicos, no requieren de características especiales de almacenamiento y embalaje. Después de un período prolongado puede formarse una ligera oxidación superficial, la cual no presenta mayores inconvenientes para el empleo de los tubos de cobre.

## 2.2 Tipos de Tubos y sus Características Técnicas.

### 2.2.1 Tipos de Tubos de Cobre.

Los tubos de cobre usados en fontanería para instalaciones de agua y gas se fabrican en diversas dimensiones, largo, diámetro y espesor de pared y son denominados Tipos K, L y M, de acuerdo con estas dimensiones. Se fabrican en cobre desoxidado de alto contenido de fósforo residual Cu-DHP según NCh 951 o Cobre N° C12200 (99.9% Cu) según los requerimientos de la Norma ASTM B 88. Otros tipos de tubos como los denominados DWV, ACR, Gas Medicinal y Tipo G/GAS deben cumplir los requisitos establecidos en las Normas ASTM B306, ASTM B280, ASTM B819 y ASTM B837 respectivamente. El tipo DWV se encuentra normalizado en Chile en NCh 251.

Los tubos de cobre de los tipos K, L, M y DWV se encuentran dimensionados en pulgadas y en unidades métricas. Como se acostumbra designarlos por el diámetro en pulgadas, en este libro se presentarán tablas con valores en ambos sistemas de medida para estos tubos.

Los tubos de los Tipos K, L, M, DWV y Gas medicinal tienen diámetros exteriores efectivos que son 1/8 de pulgada (0,125 pulgada) mayores de los tamaños estandarizados por los que se denomina a estos

tubos. Por ejemplo, una tubería Tipo M de 1/2 pulgada tiene un diámetro exterior real de 5/8 pulgada. Los tubos tipo K tienen paredes más gruesas que los del Tipo L y estos a su vez tienen también paredes más gruesas que los del Tipo M para cualquier diámetro considerado. En la Tabla 2.1 se encuentran las dimensiones y los pesos para tubos de los Tipos K, L, M y DWV en unidades inglesas y en la Tabla 2.2 se encuentran en sistema métrico.

Los tubos tipo ACR utilizados para aire acondicionado y servicios de refrigeración y los tubos de tipo G/GAS empleados en sistemas de transporte de gas natural y de propano se designan por su diámetro exterior efectivo. Así por ejemplo un tubo Tipo G/GAS de 1/2 pulgada tiene un diámetro real exterior de 1/2 pulgada. En la Tabla 2.3 se encuentra las dimensiones y pesos de los tubos tipo ACR y en la Tabla 2.4 se encuentra información sobre los tubos Tipo G/GAS.

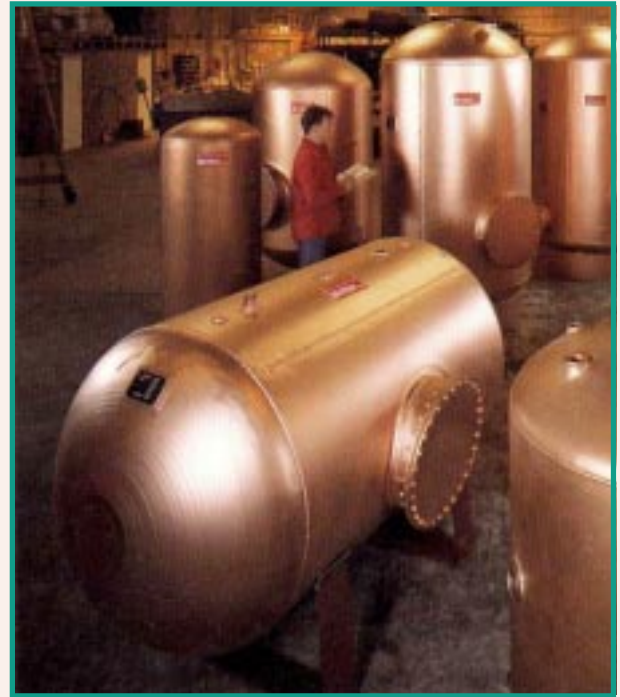


FIGURA 2.2. calderos de cobre

**TABLA 2.1** Dimensiones y pesos de los tubos de cobre de los tipos K, L, M y DWV en unidades inglesas

Tamaño Nominal pulgada	Diámetro Exterior, pulgada todos los tipos	Diámetro Interior pulgada				Espesor de Pared pulgada				Peso Teórico Libras por pie lineal			
		K	L	M	DWV	K	L	M	DWV	K	L	M	DWK
1/4	0.375	0.305	0.315	-	-	0.035	0.030	-	-	0.145	0.126	-	-
3/8	0.500	0.402	0.430	0.450	-	0.049	0.035	0.025	-	0.269	0.198	0.145	-
1/2	0.625	0.527	0.545	0.569	-	0.049	0.040	0.028	-	0.344	0.285	0.204	-
5/8	0.750	0.652	0.666	-	-	0.049	0.042	-	-	0.418	0.362	-	-
3/4	0.875	0.745	0.785	0.811	-	0.065	0.045	0.032	-	0.641	0.455	0.328	-
1	1.125	0.995	1.025	1.055	-	0.065	0.050	0.035	-	0.839	0.655	0.465	-
1 1/4	1.375	1.245	1.265	1.291	1.295	0.065	0.055	0.042	0.040	1.04	0.884	0.682	0.650
1 1/2	1.625	1.481	1.505	1.527	1.541	0.072	0.060	0.049	0.042	1.36	1.14	0.940	0.809
2	2.125	1.959	1.985	2.009	2.041	0.083	0.070	0.058	0.042	2.06	1.75	1.460	1.07
2 1/2	2.625	2.435	2.465	2.495	-	0.095	0.080	0.065	-	2.93	2.48	2.030	-
3	3.125	2.907	2.945	2.981	3.030	0.109	0.090	0.072	0.045	4.00	3.33	2.680	1.69
3 1/2	3.625	3.385	3.425	3.459	-	0.120	0.100	0.083	-	5.12	4.29	3.580	-
4	4.126	3.857	3.905	3.935	4.009	0.134	0.110	0.095	0.058	6.51	5.38	4.660	2.87
5	5.126	4.805	4.875	4.907	4.981	0.160	0.125	0.109	0.072	9.67	7.61	6.660	4.43
6	6.125	5.741	5.845	5.881	5.959	0.192	0.140	0.122	0.083	13.9	10.2	8.920	6.10
8	8.125	7.583	7.725	7.785	7.907	0.271	0.200	0.170	0.109	25.9	19.3	16.500	10.6
10	10.125	9.449	9.625	9.701	-	0.338	0.250	0.212	-	40.3	30.1	25.600	-
12	12.125	11.315	11.565	11.617	-	0.405	0.280	0.254	-	57.8	40.4	36.700	-

(1) ASTM B 88-96

(2) ASTM B 306-96

\* No disponible

**TABLA 2.2** Dimensiones y pesos de los tubos de cobre de los tipos K, L, M y DWV en unidades métricas

Designación Convencional (2)	Diámetro exterior			Espesores de pared						Masa Teórica de los Tubos en kg por metro		
	Dimensión mm	Tolerancia mm (1)		Tubos Tipo K		Tubos Tipo L		Tubos Tipo M		Tipo K	Tipo L	Tipo M
		Temple blando	Temple rígido (4)	Dimensión	Tolerancia	Dimensión	Tolerancia	Dimensión	Tolerancia			
1/4	9,52	0,05	0,03	0,89	0,10	0,76	0,09	-	-	0,215	0,186	-
3/8	12,70	0,06	0,03	1,24	0,10	0,89	0,09	0,64	0,06	0,397	0,294	0,216
1/2	15,88	0,06	0,03	1,24	0,10	1,02	0,09	0,71	0,06	0,507	0,423	0,301
5/8	19,05	0,08	0,03	1,24	0,10	1,07	0,09	-	-	0,617	0,537	-
3/4	22,22	0,09	0,03	1,65	0,11	1,14	0,10	0,81	0,08	0,948	0,671	0,484
1	28,58	0,10	0,04	1,65	0,11	1,27	0,10	-	0,09	1,24	-	0,688
1 1/4	34,92	0,11	0,04	1,65	0,11	1,40	0,10	1,07	0,10	1,53	1,31	1,01
1 1/2	41,28	0,13	0,05	1,83	0,13	1,52	0,11	1,24	0,15	2,02	1,69	1,39
2	53,98	0,13	0,05	2,11	0,18	1,78	0,15	1,47	0,15	3,06	2,59	2,16
2 1/2	66,68	0,13	0,05	2,41	0,18	2,03	0,15	1,65	0,15	4,33	3,67	3,00
3	79,38	0,13	0,05	2,77	0,18	2,29	0,18	1,83	0,15	5,93	4,93	3,96
3 1/2	92,08	0,13	0,05	3,05	0,20	2,54	0,18	2,11	0,18	7,58	6,35	5,30
4	104,78	0,13	0,05	3,40	0,25	2,79	0,23	2,41	0,23	9,63	7,95	6,89
5	130,18	0,13	0,05	4,06	0,25	3,18	0,25	2,77	0,23	14,3	11,3	9,86
6	155,58	0,13	0,05	4,88	0,30	3,56	0,28	3,10	0,25	20,5	15,1	14,20
8	206,38	0,15	+0,05 - 0,10	6,88	0,41	5,08	0,36	4,32	0,36	38,3	28,6	24,4
10	257,18	0,20	+0,05 - 0,15	8,58	0,46	6,35	0,41	5,38	0,38	59,6	44,5	37,8
12	307,98	0,20	+0,05	10,29	0,51	7,11	0,46	6,45	0,41	85,6	59,7	54,3

- (1) Todas las tolerancias en esta tabla son "+ y -" a menos que se indique otra cosa
- (2) La designación correcta es colocar después del número la letra K, L o M según el caso
- (3) Esta tolerancia es la variación máxima permisible para el diámetro exterior promedio
- (4) Estos temple son blando regular y rígido medio para tubos destinados a conducción de fluidos y blando regular y rígido fuerte para usos eléctricos

**TABLA 2.3** Dimensiones y pesos de tubos de cobre sin costura de sección circular tipo DWV en unidades S.I. (Norma Chilena NCh 952)

Designación convencional	Dimensiones y tolerancias + y - en mm				Masa teórica kg/m
	Diámetro exterior		Espesor de pared		
	Dimensión	Tolerancia (1)	Dimensión	Tolerancia	
1 1/4 DWV	34,9	0,038	1,02	0,076	0,967
1 1/2 DWV	41,3	0,051	1,02	0,076	1,20
2 DWV	54,0	0,051	1,07	0,10	1,59
3 DWV	79,4	0,051	1,14	0,10	2,51
4 DWV	105	0,051	1,47	0,18	4,27
5 DWV	130	0,051	1,83	0,20	6,59
6 DWV	156	0,051	2,11	0,20	9,08
8 DWV	206	+ 0,051 y - 0,010	2,77	0,28	15,8

(1) Para el diámetro exterior promedio

**TABLA 2.4** Dimensiones y pesos de los tubos de cobre del tipo ACR en unidades inglesas (Norma ASTM B280-95a)

Tamaño nominal	Blando			Rígido (Duro)			Peso Teórico	
	Diámetro exterior	Diámetro interior	Espesor de pared	Diámetro exterior	Diámetro interior	Espesor de pared	Libras por pie lineal	
	pulgada	pulgada	pulgada	pulgada	pulgada	pulgada	Blando	Duro
1/8	0.125	0.065	0.030	-	-	-	0.0347	0.0347
3/16	0.187	0.127	0.030	-	-	-	0.0575	0.0575
1/4	0.250	0.190	0.030	-	-	-	0.0804	0.0804
5/16	0.312	0.248	0.032	-	-	-	0.109	0.109
3/8	0.375	0.311	0.032	0.375	-	-	0.134	0.126
1/2	0.500	0.436	0.032	0.500	-	-	0.182	0.198
5/8	0.625	0.555	0.035	0.625	-	-	0.251	0.285
3/4	0.750	0.680	0.035	-	-	-	0.305	*
3/4	0.750	0.666	0.042	0.750	0.666	0.042	0.362	0.362
7/8	0.875	0.785	0.045	0.875	0.785	0.045	0.455	0.455
1 1/8	1.125	1.025	0.050	1.125	1.025	0.050	0.655	0.655
1 3/8	1.375	1.265	0.055	1.375	1.265	0.055	0.88	0.88
1 5/8	1.625	1.505	0.060	1.625	1.505	0.060	1.14	1.14
2 1/8	-	-	-	2.125	1.985	0.070	1,75	1,75
2 5/8	-	-	-	2.625	2.465	0.080	2.48	2.48
3 1/8	-	-	-	3.125	2.945	0.090	3.33	3.33
3 5/8	-	-	-	3.625	3.425	0.100	4.29	4.29
4 1/8	-	-	-	4.125	3.905	0.110	5.38	5.38

(1) ASTM B 280-95a

\* No disponible

**TABLA 2.5** Dimensiones y pesos de los tubos de cobre del tipo G/GAS en unidades inglesas

Dimensión estándar	Diámetro exterior	Espesor de pared	Peso Teórico
pulgadas	pulgadas	pulgadas	Libras por pie lineal
3/8	0,375	0,030	0,126
1/2	0,500	0,035	0,198
5/8	0,825	0,040	0,285
3/4	0,750	0,042	0,362
7/8	0,875	0,045	0,455
1 1/8	1,125	0,050	0,655

También tienen importancia los tratamientos térmicos y el acabado de los tubos.

**Estado físico.** Los tubos de cobre de temple blando (recocido) y de temple duro o rígido, se reconocen fácilmente por su presentación, consistente en rollos y tiras respectivamente.

El estado físico se define por las características mecánicas del tubo, carga a la rotura y enervamiento, alargamiento, etc., las que determinan en términos prácticos características tales como la resistencia a la presión interna, la plasticidad, y en consecuencia la facilidad para la deformación en frío.

La verificación del estado físico se efectúa por medio de pruebas de tracción y el valor mínimo garantizado en las normas europeas debe ser el que se indica en la Tabla 2.6.

### 2.2.2 Características Técnicas de los Tubos.

Las características técnicas más importantes de los tubos de cobre derivan del tipo de cobre empleado en su fabricación, de aquí la importancia del proceso utilizado en la producción del cobre metálico.

**TABLA 2.6** Prueba de tracción para tubo de cobre

Estado físico		Carga unitaria de rotura a la tracción R mínimo		Alargamiento A mínimo %
Denominación	Símbolo	N/mm <sup>2</sup>	kgf/mm <sup>2</sup>	
Temple Blando	R	205	21	45
Temple Rígido (Duro)	H	295	30	6

**Conformación.** El tubo recocido (de temple blando) tiene un alto valor de alargamiento, lo que se traduce en una muy buena conformabilidad, que le permite lograr una curvatura aun con radios muy reducidos. El cobre recocido permite curvaturas manuales tan finas como 22 x 1,5. El cobre crudo (de temple duro) es más difícil de plegar llegando sólo a 16 x 1 y no se recomienda una plegadura o curvatura manual para radios de curvatura reducidos.

La conformabilidad del cobre permite usar curvaturas manuales en los casos más comunes quedando la curvatura mecanizada sólo para tubos de gran diámetro.

En la Tabla 2.7 se encuentra una guía para doblado de tubos de los tipos K y L. Los radios de curvatura son aplicables sólo a equipos para curvado mecánico.

**TABLA 2.7** Guía para curvado mecánico de tubos

Tamaño nominal o estándar pulgadas	Tipo de tubo	Temple	Radio mínimo de curvatura pulgadas
1/4	K, L	Blando	3/4
3/8	K, L	Blando	1 1/2
3/8	K, L	Rígido	1 3/4
1/2	K, L	Blando	2 1/4
1/2	K, L	Rígido	2 1/2
3/4	K, L	Blando	3
3/4	K, L	Rígido	3
1	K, L	Blando	4
1 1/4	K, L	Blando	9

**Resistencia a la presión interna.** La plasticidad del tubo de cobre no va en desmedro de la resistencia mecánica, porque la presión interna que soporta el tubo de cobre es generalmente más elevada que la que soportan los materiales alternativos.

La presión interna que soporta un tubo de cobre está relacionada con el diámetro externo, el espesor de pared y la sollicitación. Se usa internacionalmente la formula siguiente:

$$P = 2.04 \cdot r \cdot s \cdot d_e \tag{2.1}$$

Donde :

- P = presión medida en MPa
- s = espesor de la pared en mm
- d<sub>e</sub> = diámetro exterior en mm
- r = sollicitación a la tracción en N/mm<sup>2</sup>

La única diferencia en los métodos de cálculo utilizados en diversos países consiste en la selección del valor de la sollicitación a la tracción utilizada en la fórmula, existiendo dos escuelas que son la americana y la europea.

La escuela americana representada por la Norma ASTM B 111 M adopta como sollicitación la carga de ruptura mínima requerida (R). Del cálculo se obtiene la presión de explosión y de ésta, dividiéndola por un coeficiente de seguridad de 4, se obtiene la presión de ejercicio a la cual trabajará la cañería.

La segunda escuela representada por la norma italiana UNI 7773/1 introduce directamente una sollicitación admisible calculada como 2/3 de la carga unitaria R<sub>f</sub> en el límite de la deformación permanente.

Los valores de la presión de ejercicio que resultan en este último caso son ligeramente diferentes a los que se muestran en las Tablas 2.8 y 2.9 que han sido calculados con el criterio americano, utilizando la fórmula 2.1.

**TABLA 2.8** Presiones de ruptura y de trabajo de tubos de cobre milimétricos de la serie A (en MPa)

diám x espesor mm	Tubos de temple blando (recocidos)			Tubos rígidos o de temple duro			Contenido de agua en litros/metro	Largo en metros por litro contenido
	Presión de explosión	Presión de trabajo (ASTM)	Presión de trabajo (UNI)	Presión de explosión	Presión de trabajo (ASTM)	Presión de trabajo (UNI)		
6 x 0,75	52,28	13,07	10,01	75,23	18,81	35,02	0,0159	62,8931
8 x 0,75	39,21	9,80	7,50	56,42	14,11	26,27	0,0332	30,1205
10 x 0,75	31,37	7,84	6,00	45,14	11,29	21,01	0,0567	17,6367
12 x 0,75	26,14	6,54	5,00	37,61	9,40	17,51	0,0866	11,5473
14 x 0,75	22,40	5,60	4,29	32,24	8,06	15,01	0,1227	8,1500
15 x 0,75	20,91	5,23	4,00	30,09	7,52	14,01	0,1431	6,9881
16 x 0,75	19,60	4,90	3,75	28,21	7,05	13,13	0,1651	6,0569
18 x 0,75	17,43	4,36	3,34	25,08	6,27	11,67	0,2138	4,6773
22 x 1	19,01	4,75	3,64	27,35	6,84	12,74	0,3142	3,1827
28 x 1	14,94	3,74	2,86	21,49	5,37	10,01	0,5309	1,8836
35 x 1,2	14,34	3,59	2,74	20,63	5,16	9,61	0,8347	1,1980
42 x 1,2	11,95	2,99	2,29	17,19	4,30	8,00	1,2316	0,8120
54 x 1,5	11,62	2,91	2,22	16,72	4,18	7,78	2,0428	0,4895
64 x 2	13,07	3,27	2,50	18,81	4,70	8,76	2,8274	0,3537
76,1 x 2	10,99	2,75	2,10	15,82	3,96	7,36	4,0828	0,2449
88,9 x 2	9,41	2,35	1,80	13,54	3,39	6,30	5,6612	0,1766
108 x 2,5	9,68	2,42	1,85	13,93	3,48	6,49	83,323	0,1200

**TABLA 2.9** Presiones de ruptura y de trabajo de tubos de cobre milimétricos de la serie B (en MPa).

diám x espesor mm	Tubos de temple blando (recocidos)			Tubos rígidos o de temple duro			Contenido de agua en litros /metro	Largo en metros por litro contenido
	Presión de explosión	Presión de trabajo (ASTM)	Presión de trabajo (UNI)	Presión de explosión	Presión de trabajo (ASTM)	Presión de trabajo (UNI)		
6 x 1	69,70	17,43	13,34	100,30	25,08	46,70	0,0126	79,3651
8 x 1	52,28	13,07	10,01	75,23	18,81	35,02	0,0283	35,3357
10 x 1	41,82	10,46	8,00	60,18	15,05	28,02	0,0503	19,8807
12 x 1	34,85	8,71	6,67	50,15	12,54	23,35	0,0785	12,7389
14 x 1	29,87	7,47	5,72	42,99	10,75	20,01	0,1131	8,8417
15 x 1	27,88	6,97	5,34	40,12	10,03	18,68	0,1327	7,5358
16 x 1	26,14	6,54	5,00	37,61	9,40	17,51	0,1539	6,4977
18 x 1	23,23	5,81	4,45	33,43	8,36	15,57	0,2011	4,9727
22 x 1,5	28,51	7,13	5,46	41,03	10,26	19,10	0,2835	3,5273
28 x 1,5	22,40	5,60	4,29	32,24	8,06	15,01	0,4909	2,0371
35 x 1,5	17,92	4,48	3,43	25,79	6,45	12,01	0,8042	1,2435
42 x 1,5	14,94	3,74	2,86	21,49	5,37	10,01	1,1946	0,8371
54 x 2	15,49	3,87	2,96	22,29	5,57	10,38	1,9635	0,5093
76,1 x 2,5	13,74	3,44	2,63	19,77	4,94	9,20	3,9703	0,2519
88,9 x 2,5	11,76	2,94	2,25	16,92	4,23	7,88	5,5286	0,1809
108 x 3	11,62	2,91	2,22	16,72	4,18	7,78	81,713	0,1224

Entre las características que el proceso de producción confiere al tubo de cobre, se encuentra la posibilidad de obtener tubos de gran longitud sin necesidad de uniones intermedias y con superficie notablemente lisa. La longitud final del tubo se

encuentra determinada por la masa inicial del billet empleado en su fabricación, el diámetro del tubo y por el espesor de la pared o lo que es lo mismo por la masa lineal del mismo tubo. En la práctica, la longitud se encuentra limitada por las condiciones

de transporte, de este modo los tubos rectos se cortan en tiras de 3, 5 y 7 metros y los embobinados se presentan en rollos de 25, 50 y 100 metros de largo, teniendo como limitante sólo la capacidad de levantarlos por medios manuales o mecánicos.

**Rugosidad.** En cuanto a la rugosidad superficial, al ser los tubos de cobre notablemente lisos, se tiene la ventaja que se reducen las pérdidas de carga comparadas con las que se tienen con otros materiales empleados en la confección de tubos. En la Tabla 2.10 se encuentran valores de la rugosidad absoluta para algunos materiales comerciales.

Como se observa, el cobre es notablemente más liso que los otros, lo que contribuye a que este metal sea prácticamente insensible al riesgo de incrustaciones calcáreas, puesto que se reducen las rugosidades en las cuales pueden adherirse estos depósitos a las paredes del tubo.

**TABLA 2.10** Rugosidad absoluta de algunos materiales para tuberías

Material	Rugosidad absoluta e (en mm)
Cobre trefilado	0,0015
Acero comercial	0,045
Fundición	0,25
Cemento	0,3 a 0,9

## 2.3 Productos Comerciales.

Los tubos de cobre pueden dividirse en dos grandes familias:

- Tubos industriales.
- Tubos para instalaciones domiciliarias y similares.

Al primer grupo pertenecen los tubos empleados en intercambiadores de calor, equipos desalinizadores, tubos aletados para baterías, para circuitos de refrigeración y otras aplicaciones especiales. Estos tubos requieren procesos especiales de fabricación y por lo general, se construyen según las especificaciones de los clientes.

En el segundo grupo se encuentran los tubos utilizados en instalaciones de agua potable, fría y caliente para el consumo humano, en instalaciones de sistemas de rociadores contra incendios, en sistemas de calefacción central por radiadores de pared o por losas radiantes, para conducciones de combustibles y gases y para distribución de gas terapéutico y aire comprimido. Su fabricación se encuentra normalizada.

### 2.3.1 Tubo Desnudo.

Es el tubo clásico que se produce en dos versiones: recocido y crudo, que se comercializan en rollos y tiras respectivamente. Se emplea en instalaciones de agua potable, gas y aire comprimido. También es el semifabricado que se utiliza para la producción de tubos revestidos.

Se encuentra en medidas milimétricas y en pulgadas. Para medidas milimétricas, las dimensiones más utilizadas son las que se encuentran en la Tabla 2.12.

La fabricación de estos tubos se encuentra normalizada prácticamente en todos los países del mundo. En Chile, existen Normas Chilenas, empleándose además, Normas ASTM cuando no se cuenta con normativa nacional.



**FIGURA 2.3.**

tubo de cobre desnudo

**TABLA 2.11** Tubos de cobre milimétricos de uso más común en los países europeos

Diámetro exterior mm	Medidas más usadas en el mercado							
	Tubos en bobinas				Tubos en tiras de 5 metros			
	Espesor		Largo		Espesor			
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
	1	1,5	25	50	1	1,2	1,5	2
6	x			x	x			
8	x			x	x			
10	x			x	x			
12	x			x	x			
14	x			x	x			
15	x			x	x			
16	x			x	x			
18	x			x	x			
22	x	x	x		x		x	
28					x		x	
35						x	x	
42						x	x	
54							x	x

### 2.3.2 Tubos Revestidos con PVC.

Uno de los revestimientos utilizados en tubos de cobre es el PVC (cloruro de polivinilo) estabilizado, el que se aplica en películas de espesor entre 2 y 4 mm, las que resisten temperaturas hasta de 100°C en su sección interior.

Las principales ventajas de los tubos revestidos con PVC son:

Reducción notable de la condensación de agua en la superficie del tubo cuando este transporta agua a una temperatura inferior a la del punto de rocío del medio ambiente que circunda la tubería.

Reducción o eliminación de las manchas que se producen en las paredes debido a la humedad producida por la condensación de agua.

Absorción de la dilatación térmica gracias a la

superficie interna que permite al tubo moverse, puesto que no está adherido al hormigón.

Reducción de daños mecánicos al tubo originados por golpes durante el transporte y la instalación.

Protección contra la agresividad de ambientes industriales, especialmente de vapores y en especial los gases amoniacales.

Los tubos revestidos en PVC se encuentran disponibles generalmente en cobre recocido, presentado en bobinas y en las dimensiones normalizadas que se encuentran en la Tabla 2.12.

En la Figura 2.4 se presenta un tubo revestido en PVC.

También se encuentran tubos revestidos con protección interior anticorrosiva, que garantizan una larga vida útil de los mismos.



**FIGURA 2.4.** tubo de cobre revestido en PVC

**TABLA 2.12** Dimensiones de tubos de cobre milimétricos revestidos en PVC

Dimensión del tubo de cobre D <sub>e</sub> x espesor	Largo de la bobina	Diámetro externo de la bobina	Contenido mínimo de una pieza estandarizada
mm	m	mm	m
6 x 1	50	920	2.000
8 x 1	50	920	1.800
*10 x 1	50	920	1.500
* 12 x 1	50	920	1.300
* 14 x 1	50	920	1.100
16 x 1	50	920	900
18 x 1	50	920	900
*22 x 1	25	920	500

\* Estas dimensiones generalmente están disponibles sólo contra pedido

### 2.3.3 Tubos Preaislados.

El revestimiento más empleado actualmente es el polietileno expandido gracias a sus propiedades de flexibilidad, resistencia mecánica, estabilidad en el tiempo y una elevada capacidad aislante proporcionada por la estructura celular que se produce al expandir el material plástico.

La cubierta de material plástico, también de forma tubular, se coloca por extrusión sobre la pared externa del tubo de cobre a la cual se adhiere perfectamente. Para lograr esta adherencia perfecta el diámetro interno del tubo de plástico, medido con tolerancias muy rigurosas, debe ser igual al diámetro exterior del tubo de cobre a ser revestido.

Externamente se aplica, también por extrusión, una película de polietileno no expandido para conferir al tubo una óptima resistencia a la abrasión.

Un aspecto que debe considerarse es la estabilización completa del material de la cobertura aislante para prevenir la emisión de residuos amoniacales que puedan dañar al tubo de cobre.

En la Tabla 2.13 se encuentran algunas características técnicas importantes de los materiales aislantes.

Una alternativa desde el punto de vista de la emisión de residuos amoniacales es el empleo de revestimientos de mayor densidad (46 a 47 kg/m<sup>3</sup>), aunque se experimenta una ligera disminución en las facilidades de aplicación, puesto que la mayor consistencia del revestimiento implica un mayor esfuerzo para plegar los tubos.

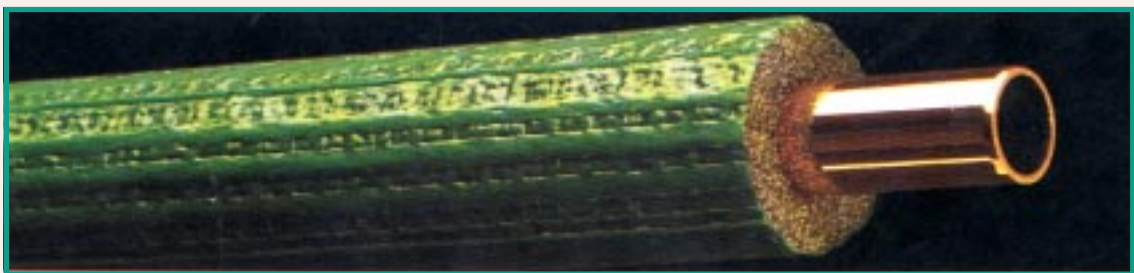
**TABLA 2.13** Características técnicas del aislante usado en tubos de cobre

conductividad térmica a 50°C	0,040 W/mK
temperatura de trabajo	- 30 a + 95 °C
densidad media del revestimiento	30 kg/m <sup>3</sup>
espesor mínimo del revestimiento	6 mm
resistencia a la difusión del vapor	m > 1000
reacción al fuego	clase 1

**TABLA 2.14** Dimensiones milimétricas de tubos preaislados normalizados

Dimensiones del tubo de cobre Diámetro exterior x espesor	Largo del rollo	Diámetro aproximado del rollo	Contenido mínimo por pieza estándar
mm	m	mm	m
10 x 1	50	800	700
12 x 1	50	800	650
14 x 1	50	800	550
16 x 1	50	850	500
18 x 1	50	850	500

Los tubos de cobre preaislados se fabrican hoy día con el criterio de "calidad total" y en consecuencia vienen acondicionados con un tratamiento anticorrosivo de la superficie interna.



**FIGURA 2.5.** tubo de cobre preaislado

### 2.3.4 Tubos Preaislados para Refrigeración y Aire Acondicionado.

Actualmente se fabrican tubos especialmente aislados para refrigeración y aire acondicionado con costos similares a los de los tubos aislados normalizados.

En particular este tipo de tubos debe respetar dos exigencias técnicas, la primera un elevado pulimento interno indispensable para evitar daños a los aparatos mecánicos y la segunda una aislación de espesor adecuado. El pulimento interno debe efectuarse de acuerdo con la Norma ASTM B 280. Por otra parte, el revestimiento externo no sólo debe limitarse a evitar la dispersión de energía. Debe contribuir también a impedir la formación de condensaciones de humedad en condiciones exigentes de trabajo como por ejemplo la conducción de agua refrigerada (6 a 8°C) en una tubería sujeta a condiciones climáticas propias del verano (altas temperaturas y una humedad relativa cercana al 100%).

### 2.3.5 Tubos para Gases Medicinales y Terapéuticos

Los principales gases medicinales y terapéuticos son el oxígeno, anhídrido carbónico, anestésicos como el protóxido de nitrógeno, (N<sub>2</sub>O) y también aire comprimido empleado en el funcionamiento de muchos equipos.

La distribución de estos gases en las salas de operaciones de los hospitales se simplifica enormemente mediante la instalación de recipientes contenedores centralizados y distribuyendo los gases por medio de cañerías de cobre a los lugares de utilización.

En particular, la distribución de oxígeno se ve facilitada por la alta resistencia del cobre a la oxidación lo que permite la distribución del gas en estado de alta pureza sin contaminación.

La tubería de cobre utilizada debe tener una superficie interior altamente pulida, exenta de partículas o sustancias que transportadas por el gas pueden resultar nocivas al hombre o producir daños en equipos delicados y de alto costo.

Los tubos para uso en transporte de gases medicinales deben ser lavados con solventes para

eliminar prácticamente todos los residuos indeseables y son sellados en los extremos mediante tapones de acuerdo con la Norma ASDTM B 280.

El cierre de los extremos del tubo tiene por objeto impedir la polución interna del tubo después del lavado.

## 2.4 Aplicaciones de los Tubos de Cobre.

### 2.4.1 Aplicaciones en la Construcción.

Los tubos y conexiones de cobre y sus aleaciones son apropiados para su utilización en un amplio rango de aplicaciones en la construcción de edificios donde han demostrado su capacidad para proporcionar servicios con una larga vida útil en múltiples condiciones de operación. Esta capacidad está demostrada por aplicaciones reales durante largos periodos de tiempo en instalaciones domiciliarias e industriales, sin necesidad de recurrir a experiencias de envejecimiento acelerado, las que pueden proporcionar resultados que no siempre son exactos.



FIGURA 2.5.

tendido de líneas subterráneas de agua potable con tubos de temple blando

En las distribuciones de agua fría y caliente para casas habitación y edificios de departamentos, estos tubos se caracterizan por ser prácticamente eternos, manteniéndose siempre limpios y lisos como el primer día, durante los años que duren las edificaciones en que han sido instalados.



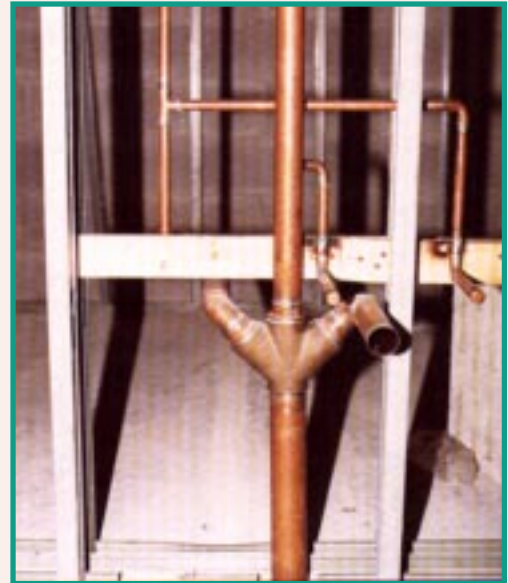
**FIGURA 2.7.** sistemas de agua caliente en edificios de departamentos

El agua conducida a través de ellas no se contamina con sustancias venenosas ni por el lavado de la cañería, ni por filtración de impurezas a través de las paredes. Al mismo tiempo, no propagan incendios de piso a piso ni se descomponen generando humos y gases tóxicos y corrosivos en caso de ignición. En el diseño de las construcciones, son las que requieren menos espacio, adaptándose fácilmente a cualquier recorrido. Se pueden doblar, añadir y acoplar con facilidad.



**FIGURA 2.8.** Instalación de tubos de cobre Tipo  $\frac{3}{4}$  L como base para radiadores por convección

Las industrias del cobre han diseñado también sistemas especiales de cañerías de evacuación y ventilación para los sistemas de alcantarillado de edificios multipisos.



**FIGURA 2.9.** instalaciones sanitarias en cobre Tipo DWV

Los tubos de cobre son los indicados por las reglamentaciones de la construcción para la distribución de gas natural, licuado o de cañería para uso en cocinas, calentadores de agua y calefacción. También se venden en calidades especiales, para las conducciones de oxígeno y gases medicinales y para las cañerías de vacío de los hospitales.



**FIGURA 2.10.** líneas de gases medicinales en hospital

Las cañerías de cobre también son muy útiles para las redes industriales de gas y de aire comprimido.

Los tubos de cobre encuentran una aplicación cada vez mayor en los sistemas de rociadores automáticos de protección contra incendios en residencias particulares, y recintos para usos comerciales e industriales.



**FIGURA 2.11.** sistema típico de rociadores automáticos residenciales que usan tubos tipo M y cabezales de respuesta rápida

## 2.4.2 Aplicaciones Industriales.

Las cañerías de la aleación de cobre y níquel, cupro-níquel, constituyen un material ideal para los tubos de los intercambiadores de calor. Desde hace algunos años han aparecido en los mercados internacionales, para este rubro, tubos con texturas interiores y exteriores que unen a la excelente conductividad térmica, menores coeficientes de resistencia al traspaso de calor en la superficie desde y hacia los fluidos refrigerantes y refrigerados.



**FIGURA 2.12.** intercambiadores de calor

La industria del cobre surte también a las instalaciones de aire acondicionado y a los modernos sistemas integrados, con aprovechamiento de la energía solar y del subsuelo.



**FIGURA 2.13.** aprovechamiento de la energía solar en un techo

Para ambientes exteriores especialmente agresivos de ciertos rellenos aislantes en base de ceniza y otros, se ofrecen tubos con cubierta plástica protectora. También hay tubos en que esta cubierta es suficientemente gruesa como para minimizar las pérdidas de calor en corrientes de agua caliente.

En los vehículos motorizados de transporte de pasajeros y carga hay importantes usos para tubos de cobre y de aleaciones de cobre. Los radiadores han sido materia de un considerable esfuerzo de diseño en los últimos años. Un ejemplo es el nuevo radiador Cupro-Braze, más eficiente, económico y construido con tecnologías no contaminantes.

Los radiadores de cobre de nuevo diseño han disminuido un 25% en peso y son 10% más eficientes que los radiadores de diseño convencional.



**FIGURA 2.14.** radiador Cupro-Braze

Las revistas especializadas indican que los radiadores de cobre y los de aleación cobre-zinc (latón) son los mejores porque:

- El cobre ofrece la mejor razón de transferencia de calor referida al volumen.
- El cobre es más durable.
- El radiador resulta más barato.
- El peso del radiador es muy aceptable.

La industria del cobre ha desarrollado también tubos con aletas y con superficies texturadas, para incrementar la eficiencia en los intercambiadores de calor y equipos de aire acondicionado con tubos de cobre.



**FIGURA 2.15.** radiadores con tubos de cobre aletados

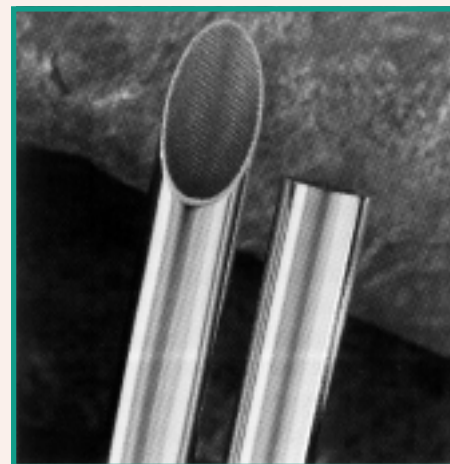
Los tubos con textura interior se fabrican con ranuras en espiral con pequeños promontorios hemisféricos y ranuras longitudinales (especialmente aplicadas en tubos de calor).

Los tubos con textura exterior pueden tener ranuras en espiral o ranuras en espiral interrumpidas con ranuras longitudinales. Esta última geometría se recomienda para refrigeradores basados en absorción de calor.

Para intercambiadores de ebullición, las aletas exteriores se han perforado en diseños especiales con túneles a lo largo de la circunferencia.

También se usan texturas piramidales en espiral y ranuras dentadas.

Todos los diseños texturados producen incrementos en la eficiencia de transmisión de calor que van de 20 a 60%. Fuera de los tubos texturados, existen tubos con aletas interiores que subdividen la sección transversal en forma de roseta.



**FIGURA 2.16.** tubos de cobre texturados

### 2.4.3 Areas de Aplicación de los Tubos de Cobre.

Podemos dividir las aplicaciones de los tubos de cobre y aleaciones de cobre en tres grupos:

#### Aplicaciones en la Construcción.

Los principales usos de los tubos de cobre en la construcción son los siguientes:

- Conducción de agua potable.
- Conducción de agua caliente.
- Conducción de efluentes domiciliarios e industriales.
- Alcantarillado y ventilación de sistemas de alcantarillado.
- Conducción de gases combustibles (ej. Gas natural, de ciudad, licuado).
- Sistemas de calefacción domiciliar de agua caliente o vapor.
- Sistemas de rociadores contra incendios.
- Colectores solares.
- Conductores rígidos de electricidad.
- Tubos para conducir conductores eléctricos.
- Usos ornamentales y quincallería.
- Usos estructurales.

#### Aplicaciones Mecánicas.

Algunas aplicaciones mecánicas de los tubos de cobre son:

- Sistemas de aire acondicionado y refrigeración.
- Conducción de combustibles líquidos (ejemplo petróleo, gasolina, kerosene).
- Conducciones de aire comprimido.
- Serpentes de bombas de calor.

- Tubos de intercambiadores de calor.
- Tubos de condensadores.
- Conducción de gases no combustibles (ejemplo nitrógeno).
- Conducción de gases médicos (ejemplo oxígeno).
- Cañerías de vapor.
- Conducción de líquidos industriales (ej. Aceites).
- Conducción de líquidos alimenticios (ejemplo Cerveza, Leche).
- Calderas.
- Tubos de calor.
- Guías de ondas.

### Aplicaciones en el Transporte.

Uso en vehículos de transporte.

- Tuberías de frenos.
- Conductos de combustibles.
- Radiadores.
- Sistemas de aire acondicionado.

## 2.4.4 Recomendaciones para Varios Tipos de Aplicaciones.

Las aplicaciones de tubos de cobre para instalaciones de conducción de gas o agua potable han de respetar las reglamentaciones de los distintos países.

Son además útiles las siguientes recomendaciones sobre tipos de tubos que se derivan de la experiencia de instalaciones que han resultado exitosas y económicas.

**Servicios de aguas subterráneas.** Usar tubos tipo M en tiras rectas unidas con accesorios soldados, y de tipo L blandas, donde el tubo en rollos resulte más conveniente.

**Sistemas de distribución de agua potable.** Tipo M por sobre y debajo del suelo.

**Tubos de distribución de agua enfriada.** Tipo M para tamaños de hasta 1 pulgada de diámetro y tipo DWV para tamaños de 1  $\frac{1}{4}$  pulgada o mayores.

**Sistemas de alcantarillado y ventilación.** Tubos tipo DWV por encima y debajo del suelo para líneas

de desagüe, drenaje y ventilación, drenaje de aguas lluvia de tejados y alcantarillado de edificios. Para los drenajes de líquidos agresivos es necesario proveer las adecuadas pendientes para minimizar los tiempos de contacto y evitar los depósitos de sedimento.

**Calefacción.** Para paneles de calefacción o lozas radiantes se recomienda usar tubos blandos tipo L, donde los serpentines se forman localmente o se prefabrican, y de tipo M donde se usen rectas acopladas con accesorios. Para calefacción en base de agua caliente o vapor se recomienda usar tubos tipo M para tamaños de hasta 1  $\frac{1}{4}$  pulgada y tipo DWV para tamaños mayores que 1  $\frac{1}{4}$  pulgada. Para líneas de retorno de condensado, se usan con éxito el tipo L. Los circuitos de calefacción pueden incluir también colectores solares conectados mediante los mismos tipos de cañerías.

**Aceite combustible y servicios de gas subterráneo.** Debe utilizarse los tubos especificados en los códigos locales.

**Sistemas de oxígeno.** Usar tubos tipo L ó K adecuadamente limpios para servicios de oxígeno, según lo indica la publicación N° 56F de la Asociación Norteamericana de Protección contra Incendios (National Fire Protection Association (NFPA), 470 Atlantic Avenue, Boston, Massachusetts 02210, U.S.A.).

Los requerimientos de limpieza son muy acuciosos, debido a que el oxígeno a presión puede causar explosiones por combustión espontánea de los aceites. Los tubos de cobre para oxígeno se deben suministrar limpios y cerrados con capuchones o tapones. La limpieza comprende lavado en caliente con solución de soda o de fosfato trisódico en la preparación de 0.6 Kg por 15 litros de agua. Está prohibido usar solventes orgánicos tales como tetracloruro de carbono u otros. Es necesario frotar adecuadamente y enjuagar abundantemente con agua caliente hasta eliminar todo vestigio de suciedad y de solución de limpiado. Las llaves atornilladas se instalarán estañando el hilo macho con soldadura blanca. Según NFPA se admite el uso de sellos de litargirio y glicerina y otros productos para sellar.



FIGURA 2.17. instalación de losa radiante

## 2.5 Propiedades y Ventajas de los Tubos de Cobre.

### 2.5.1 Ventajas del Tubo de Cobre.

Las ventajas del uso del cobre en tuberías son las siguientes:

- a) **Resistencia a la corrosión.** El cobre es resistente a un gran número de medios y no tiende a formar con el agua potable, costras voluminosas de óxido u otros compuestos que pudiesen obstruir los tubos. Esto es una gran ventaja en redes de distribución de agua fría y caliente. También es muy ventajoso para sistemas de calefacción por losas radiantes y redes de rociadores anti-incendio en instalaciones de uso intermitente. Así por ejemplo, las normas especifican en E.E.U.U. cañerías de cobre de  $\frac{3}{4}$ " (diámetro) para redes de rociadores anti-incendio en las que, si se usa cañerías de acero, se requiere que el diámetro sea para mayor seguridad de 1" .
- b) **Alta seguridad.** El cobre constituye un material de alta seguridad en casos de incendio: los metales de la familia del cobre, no propagan las llamas por encima de cielos y paredes o por debajo del piso, de un piso a otro y no se descomponen por el calor, produciendo gases altamente venenosos, como sucede con los materiales plásticos. Tampoco se consumen ni

dejan de conducir agua, por la acción de las llamas.

- c) **Fácil de unir.** Los tubos de cobre pueden unirse con acoplamientos perfectamente estancos. Se usan en ello soldadura blanda, soldadura bronce, acoplamientos mecánicos y adhesivos. Esta última solución, que está perfectamente puesta a punto, elimina el temor a dañar pinturas o papeles murales al tener que hacer trabajos de gasfitería en artefactos de baño y cocinas y ofrece una interesante alternativa para preparaciones de emergencia
- d) **Fácilmente conformables.** Los tubos de cobre son fácilmente conformables. Esto significa que los tubos se pueden doblar adaptándolos a las condiciones de espacio disponible y realizar las instalaciones prescindiendo del empleo de un alto número de uniones y codos. Esto implica economía de materiales y facilidad de instalación.
- e) **Propiedades bactericida y fungicida.** El cobre es un material con propiedades bactericida y fungicida, lo que lo hace un medio de conducción y almacenaje de agua en que no proliferan los gérmenes patógenos: ensayos recientes muestran que el contenido bacteriano en agua potable conducida por cañerías de cobre, se reduce a cero en 5 horas de permanencia en contacto con la tubería. Por el contrario, en el mismo período de tiempo, en una cañería de polibutileno, las bacterias proliferan indefinidamente.

- f) **Material ligero.** En comparación con las cañerías de fierro, las cañerías de cobre constituyen un material de construcción ligero. En efecto, al poder acoplarse por soldadura o adhesivos especiales, en vez de requerir uniones con hilo, se pueden usar tiras de cañerías con paredes mucho más delgadas que las usadas en fierro, lo que alivia los pesos de transporte.
- g) **Micronutriente.** El cobre es un material útil para los seres humanos y para los animales. Investigaciones médicas han demostrado que la ingestión de cobre en cantidades adecuadas mejora la salud cardiovascular, y que la deficiencia de cobre es un factor que contribuye en gran medida a las afecciones cardíacas coronarias, isquémicas. Además, los organismos vivos requieren de una pequeña cantidad de cobre para el crecimiento y la renovación de las células.
- h) **Impermeable.** La permeabilidad de los tubos a los productos químicos dañinos, es otra variable importante, desde el punto de vista salud. Las cañerías de cobre soldadas son completamente impermeables. En contraste, las cañerías de otros materiales no metálicos pueden ser penetradas por permeabilidad, por gasolina, aceite, insecticidas, herbicidas y otras sustancias.
- i) **Buena conductividad térmica.** El cobre es un muy buen conductor de calor. Por eso, los tubos de cobre son ideales para hacer con ellos serpentines de calefacción y refrigeración de edificios, calefontos, y refrigeradores, así como los serpentines de aprovechamiento del calor del medio ambiente, entre los que están los calefactores solares. También se fabrican tubos de cobre con un eficiente aislante externo para evitar pérdidas de calor en la conducción de agua caliente.
- j) **Alto valor residual.** Los tubos de cobre y de aleación de cobre tienen alto valor residual. Después de demoler las edificaciones en que han estado empotrados, pueden venderse como chatarra para ser reciclados como materia prima en la fabricación de tubos u otros productos nuevos. El cobre refundido que se puede obtener con la chatarra, tiene la misma calidad que el cobre refinado, de producción minera.

Diferente es el caso de los tubos de materiales plásticos que no son reciclables y además, no son

biodegradables. Por lo tanto, constituyen a futuro, un problema ecológico de residuos de muy difícil reducción.

- k) **Mayor capacidad.** Si se consideran tubos de igual diámetro, los de cobre tienen mayor capacidad de transporte para el agua, que las cañerías de plásticos o de acero.
- l) **Baja pérdida de carga.** Los tubos de cobre y aleaciones de cobre poseen una muy alta calidad superficial, por lo que tienen una baja pérdida de carga, o lo que es lo mismo, oponen muy poca resistencia al paso de los fluidos. Al mismo tiempo, como presentan una alta resistencia a la corrosión, no se forman depósitos de sales que obstruyen el paso de los fluidos.

## 2.6 Clasificación de los Tubos de Cobre y sus Aleaciones.

### 2.6.1 Según Método de Fabricación.

La tecnología ofrece distintas vías para la fabricación de tubos de cobre según como son fabricados:

- Colada continua
- Extrusión a partir de lingotes cilíndricos comercialmente conocidos como billets
- Punzonado de billets (piercing), y
- Soldadura, a partir de una cinta de lámina de cobre o fleje.

Los primeros procesos dan origen a un tubo sin costura. El proceso (d) a un tubo con una costura soldada que resulta generalmente casi imperceptible por la perfección que se ha logrado en estos procesos.

Los tubos sin costura constituyen en el mercado del cobre un producto que ha llegado ser tradicional. Su fabricación se realiza mediante procesos de colada continua de lingotes cilíndricos, los que luego se dimensionan de acuerdo al producto que se esté fabricando. En algunos países, como Chile, se utiliza un proceso de colada semicontinua para la fabricación de billets.

Usando un molde cilíndrico y un mandril interior refrigerado que se extiende desde la zona líquida

hasta la de solidificación, se puede obtener también en vez de un billete macizo un lingote hueco o pretubo, el que luego se trabaja plásticamente hasta darle las medidas finales deseadas.

En el caso de utilizar billetes macizos, los pretubos pueden ser obtenidos mediante extrusión o punzonado, un proceso que, en la industria del acero se denomina también, Proceso Mannesmann.

En la extrusión, un trozo de lingote cilíndrico es calentado al rojo y luego forzado a pasar a través de un agujero central en el fondo de un contenedor parcialmente cerrado por el extremo de un mandril, que se asoma a través de él dejando una apertura o salida de forma anular.

En el punzonado, se desgarran el centro de la barra para formar la perforación, ésta es alisada posteriormente.

Los pretubos se llevan a su dimensión final mediante sucesivas etapas de trefilación. Esta operación consiste en forzar el pretubo a pasar, por tracción, por agujeros cónicos sucesivos. El proceso de trefilación se realiza a temperatura ambiente por lo cual al finalizarlo, los tubos obtenidos tienen una dureza (temple) mucho mayor que la del pretubo.

El proceso de soldadura continua de tubos consiste en un doblado progresivo de fleje, a través del paso por sucesivos rodillos cilíndricos moldeadores, que terminan en una etapa de soldadura eléctrica sin aporte de metal. La zona a ser unida es llevada a un estado pastoso muy próximo a la fusión, mediante una corriente eléctrica de alta intensidad. Luego es comprimida a modo de unir las aristas extremas del fleje frente a frente en una costura que se denomina de tope. Parte del material adyacente a la arista, por ambos lados, se desliza formando una rebaba por encima y por dentro del tubo, siendo eliminado por sendas herramientas cortantes en forma de cincel. Este afeitado se realiza después de unir y antes de que el material se enfríe nuevamente.

El proceso de soldadura se realiza con un control continuo, para asegurar un 100% de confiabilidad de la unión. Para ello se usa un sistema de control de calidad no destructivo por corrientes eléctricas parásitas (eddy currents).

## 2.6.2 Según Composición Química

Para los fines de exponer las ventajas de usar un metal de base cobre, es necesario precisar qué materiales obedecen a este nombre. Se trata en estos casos de:

- a) cobre refinado a fuego (RAF)
- b) cobre electrolítico (puro) en distintas calidades de alta pureza, y
- c) metales mixtos compuestos en su mayor parte de cobre, en adelante aleaciones de cobre, que en el lenguaje cotidiano llamamos bronce, pero que corresponden más bien a aleaciones que la metalurgia llama latones (si son aleaciones de cobre con zinc, generalmente con 65, 70 o 90% de cobre), cuproníqueles (cobre más 10 a 30% de níquel) o latones de aluminio, si contienen adicionalmente al zinc, este último metal.

En las tablas 1.3 y 1.4 de la Parte 1 se anotan las principales aleaciones de cobre que corresponden a la descripción genérica arriba expuesta.

La enumeración UNS (Unified Number System) que en ellas se utiliza está en vigencia en las normas norteamericanas ASTM y resulta práctica, por su amplia difusión, para las operaciones de compra de tubos en distintos ámbitos.

## 2.6.3 Según Propiedades Físicas

Las propiedades básicas de diseño del cobre del tipo usado en tubos, son las que se enumeran en la tabla 1.7 de la Parte 1. Mayores detalles sobre las propiedades del cobre y sus aleaciones se encuentran en la publicación "El Cobre y sus Aleaciones", editada por PROCOBRE.

Sin embargo el lector debe saber que no sólo se pueden fabricar tubos de cobre puro, sino que también, es común la utilización de aleaciones cuyo principal componente es el cobre. Sin embargo, para conducción de agua potable se emplea normalmente tuberías de cobre, quedando las de aleación para usos industriales.

## 2.7 Normas Técnicas de Fabricación de Tubos de Cobre.

En Chile los tubos y cañerías de cobre se fabrican según las normas técnicas nacionales e internacionales que se encuentran en la Tabla 2.7.

Las Instituciones Normalizadoras y algunas abreviaciones empleadas en las normas son las que siguen en el listado:

<b>AFNOR:</b>	Association Française de Normalization (Francia).
<b>AS:</b>	Australian Standard (Australia).
<b>ASTM:</b>	American Society for Testing and Materials (Estados Unidos).
<b>BS:</b>	British Standard (Inglaterra).
<b>DIN:</b>	Deutsches Institut für Normung (Alemania).
<b>IACS:</b>	International Annealed Copper Standard. (Estados Unidos).
<b>INN:</b>	Instituto Nacional de Normalización. (Chile).
<b>JIS:</b>	Japanese Industrial Standard (Japón)
<b>NCh:</b>	Norma Chilena.
<b>AWA:</b>	American Waterworks Association.

**TABLA 2.15** Normas técnicas de fabricación de tubos de cobre

Producto	Material	Norma Técnica
Cañerías de cobre para conducción de agua y fluidos tipos K, L y M (sin costura)	Cobre DHP	ASTM-B 88 - 88a NCh 951
Tubería de cobre para desagüe Tipo DWV (sin costura)	Cobre DHP DLP	ASTM-B 306-88
Cañería standard de cobre SPS (sin costura)	Cobre DHP DLP	ASTM-B 42-88
Cañerías y tubos de cobre para uso eléctrico Redondos, cuadrados y rectangulares. (sin costura)	Cobre ETP DLP	ASTM-B 188 -88
Tubos de cobre para uso industrial (sin costura)	Cobre DHP DLP	ASTM-B 75-76
Tubos de cobre para refrigeración y aire acondicionado ACR (sin costura)	Cobre DHP	ASTM-B 280 88 ASTM-B 68 86
Tubos de latón de uso industrial Tipo SPS (sin costura)	CuZn 85/15 UNS C-23000	ASTM-B 43 88
Tubos de latón de uso industrial (sin costura)	CuZn 85/15	ASTM-B 135 86A
Tubos de latón almirantazgo y cuproníquel (sin costura)	CuNi 90/10 CuZnSn 30Cu29Zn1Sn C-4430	ASTM-B 111 88

# PARTE 3

## INSTALACION DE TUBOS DE COBRE

### 3.1 Operaciones para la Instalación de Tubos.

La ejecución de la instalación de una tubería implica una serie de trabajos que son: el diseño, la traza y el montaje del sistema de tuberías, la instalación de los componentes prefabricados y la puesta en operación de las tuberías.

La instalación y puesta en marcha del sistema está directamente vinculada al material de los tubos, los que pueden tener características muy diversas como es el caso de los tubos de cobre o de fundición.

A continuación, se detallarán los trabajos que se realizan normalmente para instalar tubos de cobre.

#### 3.1.1 Curvado de los Tubos.

La segunda propiedad más importante que caracteriza al cobre después de su conductividad eléctrica es la maleabilidad.

Los tubos de cobre sin costura, para transporte de fluidos se encuentran en el comercio en dos tipos, caracterizados por su estado físico, que puede ser temple blando o recocido y temple duro o rígido.

La solicitación unitaria de rotura a la tracción de estos dos tipos de cobre no debe ser menor que:

- Temple blando:  $205 \text{ N/mm}^2$
- Temple duro :  $295 \text{ N/mm}^2$

Análogamente el alargamiento mínimo es:

- Temple blando : 45%
- Temple duro : 5 %

La plasticidad del material esta representada en forma significativa por los resultados de las pruebas de alargamiento, de aplastamiento y de plegamiento

del tubo de temple blando (recocido). En la prueba de alargamiento el tubo debe tener una deformación del orden de un 40 % sin que se presente a simple vista ningún signo de rotura o de deformación que pueda perjudicar la eficiencia del tubo para transportar fluidos.

En la prueba de aplastamiento, el tubo se pliega sucesivamente en  $180^\circ$  sin presentar roturas o grietas al ojo desnudo.

En un tubo curvado, la parte interna queda comprimida en tanto que la externa queda tensa. A título informativo el radio de curvatura mínimo de un tubo de cobre debe ser por lo menos tres veces el diámetro del tubo. En el caso de los tubos de



FIGURA 3.1. doblado de tubos de cobre

paredes muy delgadas (por ejemplo un tubo de 35 mm de diámetro y 2 mm de espesor) el radio mínimo de curvatura debe ser por lo menos 5 ó 6 veces el diámetro del tubo.

Un tubo de temple blando puede ser doblado a mano, simplemente apoyando el tubo sobre una rodilla, o con una máquina curvadora de tubos manual como se muestra en la figura 3.1, pero si se opera en forma exclusivamente manual se tendrán

radios de curvatura desiguales, sobre todo cuando estos radios son muy reducidos, por lo tanto lo más recomendable es utilizar algún tipo de herramienta curvadora de tubos.

Aparte de estos casos a los que se recurre cuando se tiene tubos de temple blando y no es importante que los radios de curvatura sean exactamente iguales, en la mayor parte de los casos, en las instalaciones se deben utilizar aparatos para curvar, que pueden ser operados a mano o motorizados. Algunos tipos de máquinas para curvar tubos son los siguientes:

- El curvador de tubos más elemental consiste en una pieza de acero blando que va inserto al exterior o al interior del tubo de cobre, para dimensiones del tubo que van de 6 a 22 mm de diámetro exterior.

Para curvar tubos de cobre revestido la pieza de acero blando se inserta por el interior del tubo. En este caso se pueden plegar tubos de hasta 18 mm de diámetro. El aparato tiene un peso del orden de 0,5 Kg.

- El curvador de tubos de rueda manual, permite curvar tubos de cobre recocido, desnudos y revestidos, de hasta de 18 mm de diámetro. Este equipo pesa aproximadamente 2 Kg.

El curvador de tubos de rueda, de banco, permite curvar tubos de cobre recocido de hasta 42 mm de diámetro con un radio de curvatura igual a 3 veces el diámetro del tubo, pliega tubos de cobre de temple duro de hasta 24 mm de diámetro con un radio de curvatura de 4 veces el diámetro del tubo.

- Un tercer tipo de curvador deriva de un equipo que fue diseñado originalmente para curvar tubos de acero.

Con este tipo de equipo es posible realizar el curvado de tubos de cobre recocido desnudos y revestidos de hasta 22 mm de diámetro con un radio de curvatura de 3,5 veces el diámetro del tubo. El peso de este equipo es de cerca de 4 Kg.

El uso de este aparato no requiere limar el tubo como se hacía antiguamente cuando no se disponía de estos equipos ni de la gama de codos y curvas que se dispone en la actualidad.

En la Tabla 2.7 de la página 27 se encuentran los radios mínimos de curvatura recomendados para diversos tipos de tubos K y L de temple duro y blando.

### 3.1.2 Recocido.

El tubo de cobre de temple duro tiene menor plasticidad que el tubo de temple blando o recocido, lo que limita fuertemente su deformación. En los casos de tubos de temple duro de diámetro mayor que 28 mm es necesario a veces deformarlos, aunque sea en forma local, con el objeto de formar curvas o expandir su extremo para efectuar uniones soldadas. La expansión se efectúa utilizando un expandidor como el que se muestra en Figura 3.2



FIGURA 3.2. expandidor de tubos

El calentamiento para obtener el recocido consiste en llevar el material a una temperatura entre 500 y 600°C, (color rojo). Si se sobrepasan los 600°C dependiendo del tiempo de recocido, ocurre un engrosamiento desproporcionado del grano en la estructura cristalina, lo que origina una gran fragilidad del material.

Para el calentamiento del tubo puede utilizarse la llama oxiacetilénica u oxipropánica.

Cuando se utiliza un soplete oxiacetilénico conviene evitar un sobrecalentamiento local del tubo debido al contacto de la llama con el tubo, por los motivos citados. El soplete oxipropánico permite un calentamiento más uniforme y más seguro porque produce una llama con una distribución de temperatura, más uniforme. La temperatura que alcanza el tubo puede evaluarse observando el color que adquiere el mismo, este debe ser rojo oscuro (púrpura, en ningún caso rojo blanco). Algunas veces se utilizan materiales que en contacto con el tubo cambian de color a una temperatura determinada.

Terminado el recocido, al contrario del procedimiento para el acero, el tubo de cobre puede enfriarse sumergiéndolo en agua sin que se tenga problema de alteración de la estructura cristalina. Con la inmersión en agua se obtiene también una remoción de la película superficial que puede formarse durante el calentamiento.

### 3.1.3 Corte del Tubo.

El corte del tubo de cobre se efectúa actualmente con una máquina especial, por medio de una deformación en frío que se consigue con una pequeña rueda de corte que se hace rotar con un eje de rotación paralelo al tubo, que imprime una fuerza de corte constante y ortogonal a la generatriz del tubo. La rueda de corte, como se observa en la figura 3.3, se encuentra inserta en el extremo de un asta que avanza telescópicamente accionada por un acoplamiento de velocidad lenta.

En la parte opuesta de la rueda de corte se encuentran dos ruedas, que se adaptan al diámetro exterior del tubo y sirven de guía para hacer girar el equipo alrededor del tubo. Este equipo es muy útil para cortar tubos y su única limitación puede consistir en que no se tenga el espacio adecuado para lograr un giro completo cuando el tubo ya está instalado y la empuñadura no logre pasar para un giro completo. En este caso se emplean corta tubos accionados por una gata de cadena, donde la rueda de corte se desplaza sobre la circunferencia total del tubo en tanto que la empuñadura lo hará solo sobre un espacio limitado.

La ventaja de utilizar ruedas de corte es que el borde queda más liso y por lo general desprovisto de rebabas. En todo caso, debe cuidarse que no queden rebabas en la parte interna del tubo para prevenir formación de turbulencias en el escurrimiento de fluidos.

### 3.1.4 Ventajas del Uso de Herramientas.

La utilización de herramientas especialmente diseñadas para trabajar tuberías de cobre presenta una serie de ventajas, algunas de las cuales enumeraremos a continuación.

En el caso del expandidor de tubos no se tiene que comprar ni almacenar accesorios. Se ahorra un 50% en tiempo y en costo de mano de obra, también se ahorra el 50% del costo de soldadura y tiempo para

efectuar la soldadura. La chatarra de tubos es utilizable porque puede convertirse en adaptadores.



FIGURA 3.3. cortador de tubos

El curvador de tubos a su vez permite el curvado incluso en espacios reducidos, elimina la necesidad de accesorios, ahorra tiempo de instalación y forma curvas con la mínima distorsión del tubo posible permitiendo medidas de caudal óptimas y la ejecución de curvas en ángulo, alternas y repetidas. La carraca mecánica del equipo proporciona ángulos de curvado exactos.

Los cortatubos para tubería de cobre producen cortes limpios y sin rebabas, con el ahorro de tiempo que significa remover las rebabas.

## 3.2 Uniones y Accesorios para Unión.

### 3.2.1 Tipos de Accesorios.

Todas las redes de distribución además de los tubos de cobre, constan de una serie de accesorios o conexiones (fittings) que sirven para unir o para la derivación de otras tuberías. Estas conexiones, accesorios o fittings, como se denominan, son también fabricadas de cobre o de aleaciones como el bronce o el latón.

En Chile las conexiones de cobre y aleaciones se fabrican de acuerdo con las normas chilenas NCh 396, las que indican las formas, dimensiones y tipos de hilo en el caso que sean roscadas. En otros países como en Italia, ya se ha normalizado el tipo de material que debe emplearse para la fabricación de accesorios según el uso que se dé a los mismos.

### 3.2.2 Clasificación de los Accesorios.

En algunos países se acostumbra clasificar los accesorios según su utilización. En Italia la norma UNI 8950 establece que el accesorio debe presentar

resistencia a la corrosión en relación con el uso que se le dé, y los clasifica en cuatro grupos que son:

- Grupo 1:** Cobre para elaboración en frío  
 – Cu-DHP UNI 5649/1  
 – CuS UNI 5649/2
- Grupo 2:** Latón para estampado en caliente  
 – P-CuZn 39 Pb 2 UNI 5706  
 – P-CuZn 40 Pb 2 UNI 5705
- Grupo 3:** Latón para elaboración de todos los utensilios  
 – P-CuZn 40 Pb 2 UNI 5705
- Grupo 4:** Latón fundido  
 – G-CuZn 38 Pb 2 UNI 5035  
 – G-CuZn 40 UNI 5033
- Grupo 5:** Bronce fundido  
 – G-CuSn 5 Zn 5 Pb 5 UNI 7013

### 3.2.3 Clasificación Según la Forma Geométrica.

En función de la geometría del accesorio este se clasifica en cuatro grupos que son:

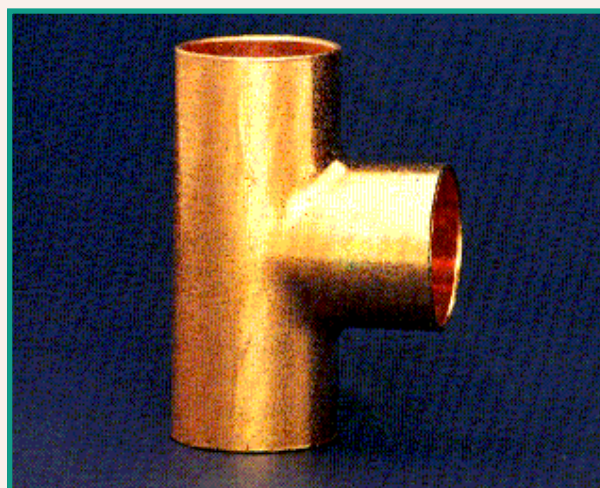
- Manguito, normal y con reducción. Figura 3.4
- Curva a 45° 90° y 180°. Figura 3.5
- Derivación en T, normal y con reducción. Figura 3.6
- Codo a 90°. Figura 3.7



**FIGURA 3.4.** manguito con reducción hembra-hembra



**FIGURA 3.5.** curva de 90°



**FIGURA 3.6.** derivación en "T" normal para soldar

### 3.2.4 Clasificación Según el Tipo de Unión.

En función del tipo específico de conexión el accesorio puede subdividirse en:

- Accesorio o conexión para soldar
- Accesorio mixto
- Accesorio para unión mecánica

### 3.2.5 Clasificación Según Fabricación

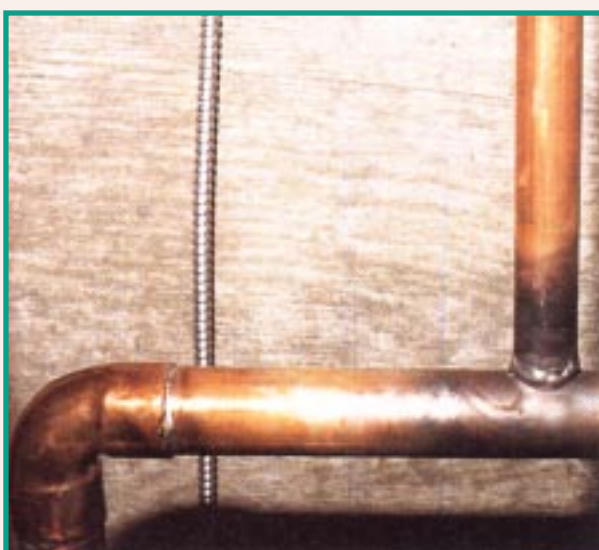
De acuerdo con el procedimiento utilizado para su fabricación los accesorios se clasifican en dos grupos:

- Accesorios estampados
- Accesorios fundidos

En las Figuras 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7 se muestran accesorios estampados y en las Figuras 3.8, 3.9, 3.10 y 3.11 se encuentran accesorios fundidos, con terminaciones mecanizadas.

### 3.2.6 Accesorios o Conexiones para Soldar.

Los accesorios para soldar pueden ser de cobre, bronce o latón, tienen extremos lisos y las uniones soldadas de los tubos de cobre se realizan con conexiones capilares donde el material de la soldadura, fundido, penetra por capilaridad bañando totalmente el extremo del tubo inserto en la conexión.



**FIGURA 3.7.** codo a 90° soldado con soldadura blanda

### 3.2.7 Accesorios Combinados o Mixtos.

Los accesorios combinados o mixtos tienen un extremo liso para soldar y otro roscado, con hilo. Se dividen en dos tipos:

- a) Para soldar / Con hilo
- b) Para soldar / Para unión mecánica

Ambos tipos son utilizados para conectar aparatos y para unir tubos de cobre con tubos de acero. Como estos accesorios se fabrican generalmente en bronce o en latón evitan el contacto directo del cobre con el acero.

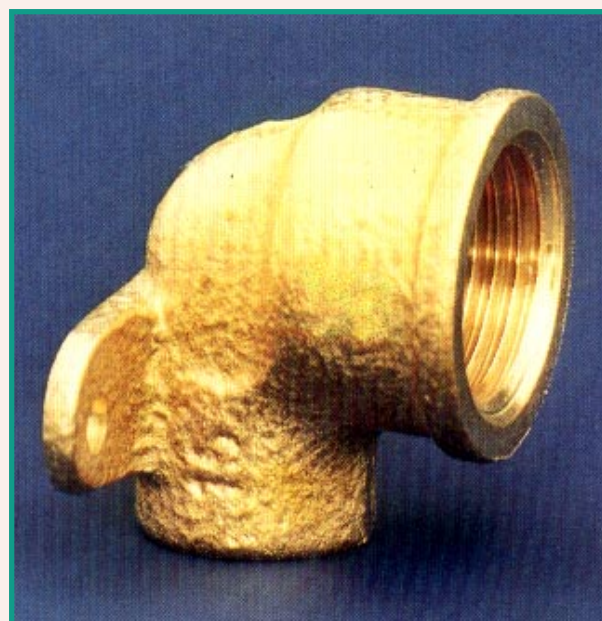
Como el latón y el bronce tienen un potencial electroquímico intermedio entre el cobre y el acero su presencia en la conexión tiene el efecto de reducir

la diferencia de potencial entre estos dos metales. Debe recordarse que el fenómeno de la cople galvánica aparece cuando dos metales están en contacto y sumergidos en un fluido buen conductor de la electricidad.



**FIGURA 3.8.** manguito combinado roscado macho-hembra

La conductividad eléctrica del agua potable es baja, (2500 Ohm/cm a 20°C) y por lo tanto el fenómeno de corrosión electroquímica entre cobre y acero es raro cuando se transporta este tipo de fluido. Sin embargo, cuando se trata de aguas salobres o aciduladas la corrosión es elevada y en este caso es recomendable utilizar tubos de cuproníquel



**FIGURA 3.9.** codo combinado con aletas de fijación



**FIGURA 3.10.** "T" hembra para soldar con derivación hembra roscada

El uso de juntas dieléctricas en redes de agua potable fría y caliente no es necesario. Sin embargo en redes de distribución de gas es obligatorio en muchos países.

En la Tabla 3.2 se muestran las presiones admisibles para las conexiones combinadas (mixtas) con hilo.



**FIGURA 3.11.** conexión americana cónica hembra con collarín roscado hembra

**TABLA 3.1** Presión de trabajo admisible para conexiones roscadas

Dimensiones	Presión de Trabajo en bar	
	fino a 120	fino a 225
1/4" a 3/4"	25	16
1" a 2"	26	10
2 1/2"	10	6

### 3.2.8 Conexiones Mecánicas. (Uniones Americanas)

Las conexiones mecánicas comprenden los siguientes tipos:

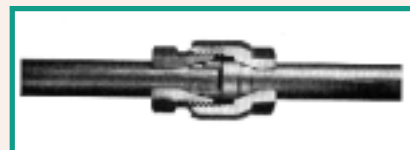
- a) Conexiones mecánicas de compresión con insertos de doble cono o bicónicos (metálicos o de PTFE) Figura 3.12.
- b) Conexión mecánica de compresión con anillos de cierre metálico. Figura 3.13.
- c) Conexión mecánica de compresión con guarnición plástica toroidal, sello tipo O-ring. Figura 3.14.
- d) Conexión mecánica con cuello plano.
- e) Conexión mecánica con cuello cónico.



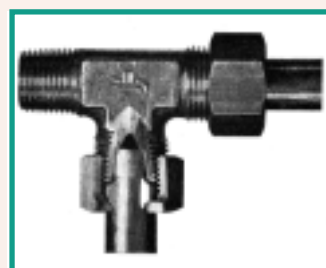
**FIGURA 3.12.** conexión mecánica por compresión con inserto de doble cono

Para dar forma al cuello, ya sea plano o cónico, el extremo del tubo de temple duro debe ser recocido, porque de otro modo el extremo del tubo se rompe durante el embutido. El trabajo para dar forma al cuello se efectúa con una variedad de aparatos, por lo general de tipo manual.

Los accesorios con cuello recocido se emplean en circuitos de refrigeración o de distribución de gas como aire comprimido, gases medicinales, etc.



**FIGURA 3.13.** conexión mecánica de compresión con anillo de sello metálico



**FIGURA 3.14.** conexión mecánica por compresión con sello tipo O-ring

### 3.3 Denominación de los Accesorios.

Los accesorios, se designan por un nombre que comprende las siguientes partes:

- a) La denominación del tipo de conexión, (adaptadores, coplas, manguitos, curvas, codos, tes, uniones americanas, fittings, etc.)
- b) El tipo de los extremos del accesorio
- c) El diámetro nominal.
- d) El diámetro de la sección roscada para las conexiones combinadas (mixtas).

En la Norma chilena NCh 396/1 se ha definido los nombres de los diferentes tipos de accesorios en la forma que sigue:

#### 3.3.1 Nombre de los Extremos en Función del Tipo de Acoplamiento.

SI = extremo para soldar, hembra, maquinado para recibir interiormente al tubo de cobre, (C)

SE = extremo para soldar macho, maquinado al diámetro exterior del tubo de cobre (FTG)

RI = extremo roscado interior hembra, para unión con accesorio o tubo roscado exterior (F)

RE = extremo roscado exterior macho para unión con accesorio o tubo roscado interior (M)

Cuando los accesorios tienen enchufes iguales, se designan en Chile con el número que caracteriza al tubo con el que van a utilizarse, de acuerdo con NCh 951

Ejemplo : Codo 13 SI (Codo 1/2 " C)

Cuando los accesorios tienen enchufes desiguales se designan indicando el número correspondiente a cada extremo de acuerdo con las definiciones anteriores. Estas designaciones se escriben separadas por el signo "x" y en el orden que se señala en las letras a) , b) y c), a continuación:

- a) Los accesorios con dos entradas se designan indicando primero el enchufe de mayor diámetro. Figura 3.15 a
- b) Los accesorios con tres entradas se designan indicando primero el mayor de los que están en línea recta, se sigue por el opuesto en línea y por ultimo el lateral. Figura 3.15 b

- c) Los accesorios con cuatro entradas se designan indicando primero el mayor de ellos, en seguida el opuesto a este, después el mayor de las entradas laterales y por último el opuesto. Figura 3.15 c

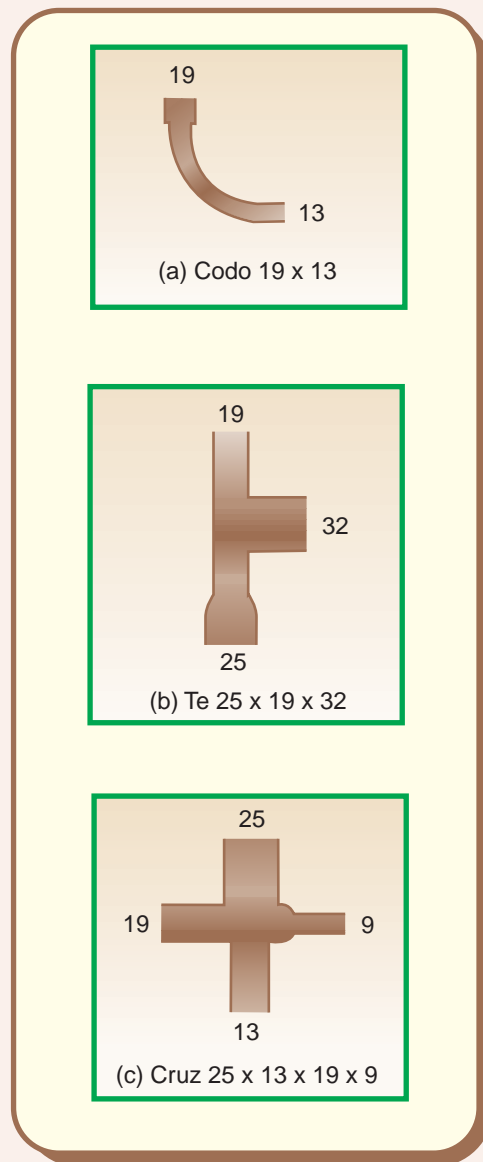


FIGURA 3.15. designación de accesorios

Si uno de los enchufes a soldar fuera macho SE (FTG) se enuncia primero, pero manteniendo la prioridad de la línea recta.

Para accesorios combinados (mixtos) en todas las designaciones se mantendrá la prioridad que sigue a continuación:

- 1) Extremo para soldar macho SE (FTG)
- 2) Extremo para soldar hembra SI (C)
- 3) Extremo roscado hembra RI (F)
- 4) Extremo roscado macho RE (M)

La designación del extremo roscado corresponde a la dimensión nominal de la tubería roscada de acuerdo con la norma chilena NCh 1594 "Rosca Whitworth para Tubos y Fitting". Cuando los accesorios requieran roscas diferentes a las establecidas en esta Norma, en Chile ello se deberá indicar expresamente a continuación de su designación.

También se usa la designación HE para indicar hilo exterior y HI para hilo interior.

Para los accesorios con reducciones que tienen un extremo liso para soldar y otro con hilo se indica primero la parte para soldar y en seguida la parte con hilo.

### 3.3.2 Condiciones de Servicio para Accesorios Unidos a Tubos.

Los accesorios unidos a tubos pueden emplearse para las presiones que se indican en la Tabla 3.2.

**TABLA 3.2**

Temperatura de Servicio °C	Presión Hidráulica de Servicio en Tubos de Diámetro Exterior Nominal (d)	
	d < 50 mm	d > 50 mm
40	1,22 MPa (12 kg/cm <sup>2</sup> )	1,02 MPa (10 kg/cm <sup>2</sup> )
65	0,92 MPa (9 kg/cm <sup>2</sup> )	0,71 MPa (7 kg/cm <sup>2</sup> )
90	0,71 MPa (7 kg/cm <sup>2</sup> )	0,51 MPa (5 kg/cm <sup>2</sup> )
120	0,51 MPa (5 kg/cm <sup>2</sup> )	0,31 MPa (3 kg/cm <sup>2</sup> )

### 3.4 Soldadura de Tubos de Cobre.

Uno de los métodos más comunes para unir tubos de cobre es la soldadura, la que dependiendo de la temperatura a la cual se efectúa, se clasifica en soldadura blanda y soldadura fuerte.

#### 3.4.1 Soldadura Blanda.

En la soldadura blanda (soldering) se unen dos metales utilizando un metal de relleno cuyo punto de fusión es más bajo que cualquiera que el de los metales que se están uniendo. En este método, las uniones soldadas de tubos de cobre se realizan con conexiones capilares, donde el metal fundido rellena el hueco que queda entre las piezas que se van a unir. Como la soldadura blanda requiere temperatura menores que las del punto de fusión de las piezas a unir, hay poco riesgo de producirles daño cuando se utiliza este procedimiento.

Al calentar las juntas que van a ser soldadas, cuando se alcanza la temperatura adecuada, el metal de

relleno se funde y se combina con el metal de la superficie de las piezas formando una capa delgada de aleación que sirve de enlace entre el metal que compone la pieza y el metal de la soldadura. Este enlace se llama comúnmente "estañado" porque generalmente se utiliza estaño como agente adherente para unir la soldadura con el metal de la pieza.

Para usos comunes de gasfistería se usa soldadura de estaño (tabla 3.3). La soldadura fundida penetra en el hueco entre las piezas por capilaridad.

Las soldaduras blandas son aleaciones relativamente débiles que pueden romperse fácilmente al ser sometidas a esfuerzos, sin embargo el diseño de la unión, así como la profundidad y el área cubierta por la soldadura son suficientemente fuertes para sobrepasar los problemas originados por los esfuerzos ejercidos sobre el macho y la hembra (enchufe).

Los accesorios manufacturados se diseñan para dar una unión con profundidad y superficie adecuada, pero cuando la hembra se fabrica en terreno, la profundidad de la unión debe ser como mínimo la que se indica en la Tabla 3.4.

**TABLA 3.3** Composición y características de fusión de soldaduras blandas

Tipo de soldadura	Contenido metálico	Rango de fusión		Temperatura práctica de soldadura
		solidus	liquidus	
	%	°C	°C	°C
estaño	100	232	232	350
antimonio	95/5	236	243	340
estaño/plata	96.5/3.5	221	221	355
estaño/cobre	99/1	230	235	350
estaño/plomo	50/50	183	212	250

**TABLA 3.4** Profundidad mínima de hembras para soldar con soldadura blanda

Diámetro del tubo en mm											
6	8	10	12	15	18	22	28	35	42	54	67
Profundidad de la unión en mm											
6	7	8	9	11	13	15	18	23	27	32	33

En general, en procesos de soldadura capilar, se usaba antiguamente aleación 50–50 Sn/Pb, la cual, ha sido reemplazada por aleaciones sin plomo, debido a las restricciones medioambientales que regulan la presencia de plomo en el agua.

Las soldaduras blandas libres de plomo disponibles actualmente contienen un alto porcentaje de estaño, aleado con un segundo metal que se agrega para mejorar las propiedades de resistencia mecánica.

Para aplicaciones que requieren mayor resistencia o que tengan que resistir altas temperaturas de trabajo (de hasta 167°C) se usan soldaduras capilares de bronce. En cañerías de refrigeración se prefiere también a menudo este último tipo de soldadura.

**TABLA 3.5** Composición de algunas soldaduras blandas según NCh 1462

Aleación	B-Sn50Pb	B-Sn50PbSb	B-Sn95Sb
Temperatura de fusión °C	185-215°C	183-215°C	230-240°C
% Sn	49,5-50,5	49,5-50,5	Resto
% Pb	Resto	Resto	0,20
% Sb	0,12	0,20-0,50	4,5-5,5
% Bi	0,25	0,25	0,15
% Cu	0,08	0,08	0,08
% Fe	0,02	0,02	0,04
% Al	0,005	0,005	0,005
% Zn	0,005	0,005	0,005
% As	0,025	0,025	0,05
% Otros	0,08	0,08	0,08

**TABLA 3.6** Consumo de soldadura blanda

Dimensión de la Conexión		Cantidad de Soldadura para 100 Uniones	
(mm)	(pulg)	(Kg)	(lbs)
6	1/4	0.23	0.50
10	3/8	0.23	0.50
13	1/2	0.34	0.75
25	1	0.68	1.50
32	1 1/4	0.79	1.75
38	1 1/2	0.91	2.00
50	2	1.14	1.50
63	2 1/2	1.59	3.50
76	3	2.04	4.50
100	4	2.95	6.50
125	5	4.09	9.00

El espacio ocupado por los capilares entre el tubo y el accesorio es más efectivo para dimensiones entre 0,05 y 0,13 mm (0,002 a 0,005 pulgadas), pero puede ser hasta de 0,25 mm (0,010 pulgadas). La soldadura llena este hueco por capilaridad. El espaciamiento es crítico para que la soldadura fluya a través de capilar y forme una unión resistente. Puede tolerarse una cierta falta de ajuste entre las piezas macho y hembra, pero una falta de ajuste demasiado grande puede ocasionar serios problemas sobre todo en la unión de piezas grandes. Esto también origina un gran consumo de soldadura para rellenar los huecos pudiendo dar lugar a la formación de burbujas en el interior de la conexión.

### 3.4.2 Soldadura Fuerte (Brazing)

La soldadura fuerte es un método para unir dos metales utilizando un metal de relleno que tenga un punto de fusión sobre 450°C, pero debajo del punto de fusión de los metales que van a ser unidos. El metal de relleno, igual que en el caso de la soldadura blanda entra por capilaridad en el hueco entre las dos piezas que se están soldando.

La soldadura fuerte es apropiada para una gran variedad de instalaciones. En particular se emplea en aquellos casos en que se requiere una gran resistencia mecánica de la unión, como es el caso de la operación a altas presiones, altas temperaturas e instalaciones para trabajo pesado.

Debe considerarse que la soldadura fuerte de tubos de cobre producirá recocidos locales de manera que deberá tenerse en cuenta en los cálculos que se efectúen para la presión de operación, los valores correspondientes a tubos de cobre recocido o de temple blando.

Para que una unión por medio de soldadura fuerte tenga éxito se requieren una serie de condiciones:

- 1 Las superficies que van a ser unidas deben estar químicamente limpias, libres de suciedad, grasa y óxidos.
- 2 Es importante que el hueco para que la soldadura suba por capilaridad sea del ancho requerido.
- 3 El metal de relleno debe fluir en forma pareja por capilaridad y para asegurar que esto se logre, el calor debe aplicarse cuidadosamente en forma uniforme a la superficie de unión.

Cuando se unen tubos de cobre con accesorios de cobre debe utilizarse rellenos metálicos de cobre-plata-fósforo o de cobre-fósforo. Estas soldaduras tienen puntos de fusión entre 600°C y 800°C y generalmente contienen una proporción de plata.

Por lo general, las soldaduras que tienen menor contenido de plata poseen un rango de temperaturas de fusión más extendido y son más viscosas que las que contienen mayor cantidad de plata. Sirven para soldar tubos de gran diámetro, pero no son apropiadas con uniones hechas en

terreno que presentan problemas de alineación y de formación de secciones aptas para capilaridad.

Las soldaduras metálicas de alto contenido de plata, que poseen gran fluidez en estado líquido pueden penetrar por capilares muy estrechos formando uniones limpias.

Las aleaciones metálicas para relleno vienen generalmente en forma de alambres o varillas y son incorporadas a la unión cuando se ha alcanzado la temperatura adecuada para soldadura fuerte. También se encuentran formas metálicas prefabricadas tipo anillos metálicos, que son colocadas en la parte hembra de la conexión durante el proceso de ensamble de la unión.

Las ventajas de usar anillos de soldadura prefabricados son las siguientes: primero se tiene una unión limpia con un filete de soldadura continuo con plena penetración en toda la superficie de la unión y segundo se economiza material de relleno, puesto que el prefabricado ha sido calculado para aportar la cantidad correcta de soldadura necesaria para la unión.

### 3.4.3 Soldaduras Metálicas Cobre-Plata-Zinc.

Estas soldaduras se basan en aleaciones de cobre, plata y zinc. Algunas tienen una pequeña proporción de cadmio que disminuye el rango de fusión por debajo de 600°C lo que hace que sea posible obtener una distribución de temperatura más pareja alrededor de la zona de unión.

Las soldaduras de cadmio producen humos tóxicos al calentarse, de manera que éstas no deben ser utilizadas a menos que los procedimientos de seguridad del fabricante permitan su empleo sin riesgos para el personal.

### 3.4.4 Soldaduras Cobre-Plata-Fósforo.

El fósforo en la soldadura actúa como desoxidante y mejora las propiedades de "mojado" de las superficies de los metales que van a ser unidos. Cuando se emplea soldadura fuerte para soldar cobre al aire, no es necesario el empleo de fundente si se utiliza este tipo de soldadura con fósforo, sin embargo, si se están soldando aleaciones de cobre el fundente siempre es necesario.

El relleno metálico debe ser capaz de penetrar por capilaridad a una profundidad de por lo menos 12 mm y hasta 50 mm en uniones traslapadas.



**FIGURA 3.16.** soldadura fuerte en cañerías para gases de hospital

Las uniones por soldadura fuerte se clasifican en dos categorías:

1. Hembra o enchufe manufacturada en fabrica.
2. Hembra o enchufe preparada en terreno.

Las uniones que vienen fabricadas tienen dimensiones muy precisas con bajas tolerancias lo que permite que la soldadura rellene por capilaridad el hueco entre las piezas. Ellas pueden ser del tipo end-feed o del tipo de anillo para soldar integrado.

Para preparar uniones en terreno se utilizan expandidores manuales y es muy importante cuando se emplee este tipo de unión que el hueco entre las piezas tenga el largo y espesor adecuado para permitir que la soldadura fundida fluya por capilaridad.

### 3.5 Tendido del Tubo de Cobre.

Cuando un tendido de cañerías de cobre ya viene dimensionado, un problema que se puede presentar es si tiene suficiente capacidad, o sea si es capaz de transferir una cierta cantidad de fluido por unidad de tiempo. En función del tipo de fluido y del largo y complejidad del tendido se optimizan dos aspectos que son: la distribución de las pérdidas de carga y el diámetro de las tuberías.

Esto debe efectuarse respetando el límite de velocidad admitido para un fluido determinado

considerando fenómenos como la erosión, el ruido y la presión ejercida por el fluido sobre las curvas. Una vez definido el diámetro del tubo y de sus eventuales derivaciones, en la mayor parte de los casos, por lo menos en las instalaciones de agua fría y caliente y en las sanitarias, el proyectista ha terminado su labor y procede en este caso la instalación misma. El problema de la instalación ha sido resuelto indicando sobre un plano la disposición de los tubos en planta y también agregando secciones transversales e indicaciones sobre algún otro tipo de instalación.

Una vez en terreno, el mayor problema aparece en los tendidos horizontales de las tuberías. Es evidente que por lo menos debe evitarse el aspecto antiestético que presentan cañerías con flechas muy pronunciadas.

En el tipo de instalaciones al que se refiere este capítulo, la distancia entre dos apoyos sucesivos debe ser determinada de manera que no se sobrepase un cierto valor máximo de la flecha originada por flexión.

Por lo general, una tubería se encuentra apoyada en varios soportes (n travesaños), pero a los efectos del cálculo se supondrá apoyada en tres soportes lo que deja dos travesaños.

El valor máximo de la distancia entre dos apoyos se calcula de la expresión que proporciona el valor de la flecha máxima para la configuración geométrica indicada.

$$F = 0,00542 * q * L^4 / E * J$$

Donde :

F = flecha en mm.

q = carga uniformemente distribuida que en este caso se supone es igual a la masa lineal del tubo mas la masa del fluido contenido (N/m).

L = distancia entre dos apoyos adyacentes.

E = módulo de elasticidad de Young, para el cobre de temple duro se considera igual a  $13.200 \cdot 10^7$  N/m<sup>2</sup>

J = momento de inercia ecuatorial (m<sup>4</sup>) para el tubo:

D = diámetro exterior del tubo.

d = diámetro interior del tubo

J está dado por la expresión:

$$J = (\pi/64) * (D^4 - d^4)$$

Resolviendo la ecuación para L y reemplazando los valores se tiene:

$$L = \sqrt[4]{\frac{f * 13.200 * 10^7 * \pi * (D^4 - d^4)}{64 * 0,00542 * q}}$$

Si se utiliza un valor máximo de la flecha de 0,3 mm se tiene:

$$L = 137,61 * \sqrt[4]{\frac{(D^4 - d^4)}{q}}$$

En la Tabla 3.7 viene calculada la distancia máxima entre apoyos para tubos que conducen agua a 4°C, para una flecha máxima de 0,3 mm.

Los tubos de cobre se fijan a los muros utilizando abrazaderas de las que existen varios tipos que se muestran en la Figuras 3.17.

**TABLA 3.7** Distancia máxima entre apoyos para tubos de cobre que conducen agua a 4°C

Dimensión mm	Distancia mm	Dimensión mm	Distancia mm
6x1	700	22x1,5	1450
8x1	850	28x1,5	1650
10x1	950	35x1,5	1850
12x1	1050	42x1,5	2050
14x1	1150	54x2	2300
15x1	1200	76,1x2,5	2750
16x1	1250	88,9x2,5	3000
18x1	1300	108x3	3300

La fijación puede hacerse directamente sobre estribos pegados a la pared o sobre soportes metálicos que a su vez se fijan a la pared.

En general, se distinguen tres tipos de fijaciones para tendidos de tubos de cobre que reciben los siguientes nombres:

- a) Fijaciones simples
- b) Fijaciones flotantes
- c) Fijaciones de punto fijo

El tendido de la red está condicionado al tipo de fijaciones que se utilicen, pero siempre debe primar el respeto al trazado diseñado por el proyectista y a las pendientes previstas en este diseño.



**FIGURA 3.17.** fijaciones para tubos de cobre

### 3.6 Dilatación Térmica de Tubos de Cobre.

Como consecuencia del aumento de la temperatura, los tubos de cobre se dilatan y el alargamiento experimentado, igual que para cualquier otro sólido, está representado por la siguiente expresión analítica.

$$\Delta L = \alpha * L * \Delta T$$

Donde :

- $\alpha$  = coeficiente de dilatación lineal
- L = longitud de tubo
- $\Delta T$  = salto térmico en °C

El coeficiente de dilatación lineal tiene un valor para el cobre de 0,0000165 (entre 10 y 85°C) y para el acero de 0,000012.

Como ejemplo, si se tiene una tubería recta de cobre de 40 metros que fue instalada con una temperatura

ambiente de 5°C y que en operación normal trabaja con fluidos calientes, alcanzando una temperatura de 85 °C, la dilatación lineal del tubo será:

$$\Delta L = 0,0000165 \cdot (85-5) \cdot 40 = 0,0528 \text{ m} = 53 \text{ mm}$$

Cuando la tubería se encuentra sujeta en sus extremos a dos aparatos fijos, como pueden ser una bomba y un intercambiador de calor, si esta es de diámetro pequeño, (por ej. 18x1 mm), como consecuencia del cambio de temperatura se tendrá una flexión del tubo originándose solicitaciones que pueden ser dañinas para eventuales equipos o piezas intermedios, como válvulas o accesorios. Si el tubo es de gran diámetro, por ejemplo de 75x2,5 mm, los que generalmente son de temple duro y tienen una menor elasticidad, se puede originar una sollicitación axial elevada. Como consecuencia del obstáculo para la dilatación, se tendrá la siguiente sollicitación:

$$\sigma = \epsilon \cdot E$$

donde :

$$\epsilon = \Delta L/L = \alpha \cdot \Delta T$$

y

$$E = 132.000 \text{ N/mm}^2$$

De aquí:

$$\sigma = 0,000165 \cdot (85-5) \cdot 132.000 = 174,24 \text{ N/mm}^2$$

Este valor corresponde a cerca del 60 % de la carga unitaria mínima de ruptura a la tracción del cobre duro, que es de 295 N/mm<sup>2</sup>. El empuje ejercido por el tubo sobre el extremo fijo está dado por la expresión:

$$F = \sigma \cdot S$$

Donde :

$\sigma = 174,14 \text{ N/mm}^2$  como se calculó anteriormente.

$$S = \pi \cdot (D^2 - d^2)/4 = p \cdot (76,1^2 - 73,6^2)/4$$

$$S = 293,93 \text{ mm}^2$$

Sustituyendo se tiene:

$$F = 174,24 \cdot 293,93 = 51.200 \text{ N}$$

Valor demasiado alto para despreciarlo.

Es evidente que la dilatación de los tubos provocada por el calor origina deformaciones y sollicitaciones a lo largo de la tubería y esfuerzos en los extremos de esta. Se deduce de aquí que en tramos de tubería no rectilíneos se puedan originar sollicitaciones puntuales muy peligrosas en curvas, derivaciones, extremos del tubo, etc.

### 3.6.1 Compensación de la Dilatación. Tipo "U".

A continuación se analizará un tipo de compensador de dilatación elemental, que es el clásico lazo en forma de U (U loop). La U absorbe la compresión o dilatación de la tubería aprovechando su propia elasticidad. El largo del brazo de la U, indicado como b en la figura 3.17 puede calcularse en forma esquemática partiendo de datos aproximados a los del comportamiento real del tubo.

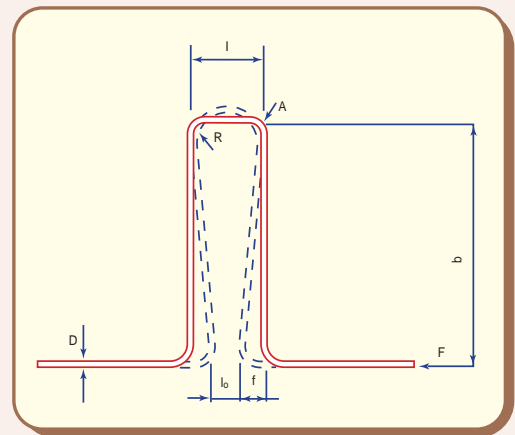


FIGURA 3.18. Compensador de expansión en "U"

El esfuerzo F que se produce como consecuencia de la dilatación térmica en un tubo con extremo empotrado está aplicado a un elemento transversal de la U, que experimenta una deformación, como se observa en la figura 3.18. Se supone en este análisis que el brazo se encuentra empotrado en el punto A de modo que el momento de flexión esta dado por:

$$M_f = F \cdot b$$

La sollicitación debido a la flexión es por lo tanto:

$$S_f = M_f / W$$

Donde el momento resistente respecto al eje, W, es:

$$W = J/(D/2)$$

Substituyendo este valor en la expresión que representa la tensión se tiene:

$$\sigma_f = (F * b/J) * (D/2)$$

Siguiendo la hipótesis de la viga empotrada en "A" y solicitada en el extremo por una fuerza F, la flecha "f" esta dada por la expresión :

$$f = (F * b^3) / (3E * J) = (F * b/J) * (b^2/3E)$$

Resolviendo respecto a "b" se tiene

$$b = \sqrt{(3 * d * f * e) / 2 * \sigma_f}$$

En la etapa de proyecto se considera:

$$\sigma_f = \sigma_R / K$$

Y considerando los siguientes valores para K y  $\sigma_R$

K = 3  
 $\sigma_R = 295 \text{ N/mm}^2$  para cobre endurecido.

Se tiene:

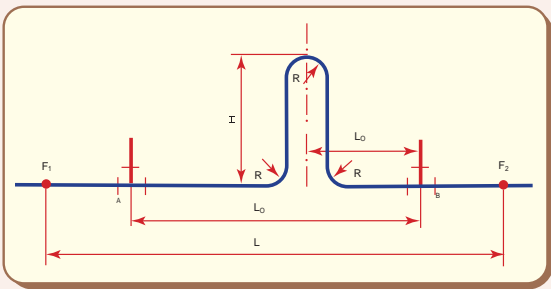
$$\sigma_f = 98,3 \text{ N/mm}^2$$

Además se tiene:

$$E = 132.000 \text{ N/mm}^2$$

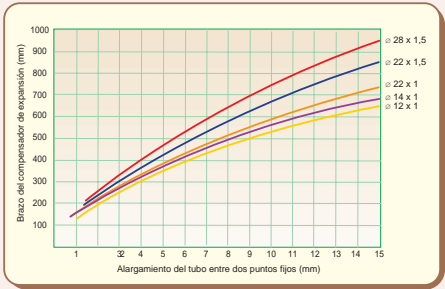
La expresión que permite calcular el largo del brazo de la U se convierte entonces en:

$$b = \sqrt{(3 * D * f * 132.000) / 2 * 98,3}$$



**FIGURA 3.19.** Compensador de expansión sin accesorios

- L distancia entre dos puntos fijos  $F_1$  y  $F_2$
- $L_0$  distancia entre dos derivaciones próximas a la compensación
- $l_0$  distancia desde el centro del compensador a la derivación mas próxima
- H brazo del compensador
- R radio de curvatura del tubo (cerca de 4 a 5 veces el diámetro del mismo)



**FIGURA 3.20.** largo del brazo del compensador de expansión en "U"

Con el esquema que se adoptó no se tiene en cuenta que de hecho, el brazo de la "U" en el punto A cumple una rotación con la inflexión consiguiente en el tramo de largo L. Por lo tanto la expresión solo es válida cuando  $b > L$ .

Una expansión en "U" puede construirse partiendo de un tubo recto en tiras (de temple duro) moldeándolo en frío con la ayuda de un curvador de tubos como el descrito anteriormente.

A continuación se calcularán los datos para construir el compensador de expansión en "U" que es el más conocido.

Del diagrama de la figura 3.20 se obtiene el brazo H del compensador en función de la dilatación entre  $F_1$  y  $F_2$  (Ver Figura 3.18). Enseguida se verifica que  $L_0$  no sea inferior al valor mínimo reportado en la Tabla 3.9 En forma análoga se verifica H. Para valores de  $L_0$  menores que el mínimo aceptable se aplica a H el mayor valor de la Tabla 3.9.

**TABLA 3.8** Valores mínimos de L<sub>0</sub> y H para loop "U" sin accesorios

Diámetro del tubo	12x1 mm	14x1 mm	18x1 mm	22x1,5 mm	28x1,5 mm
L <sub>0</sub> mínimo (mm)	1000	1200	1400	1600	1800
H mínimo (mm)	250	300	350	400	450

**TABLA 3.9** Mayor valor de H para valores de L<sub>0</sub> menor que L<sub>0</sub> mínimo en Loop de expansión sin accesorios

L <sub>0</sub> = 0,75 L <sub>0</sub> mínimo	H = 1,10 H mínimo
L <sub>0</sub> = 0,50 L <sub>0</sub> mínimo	H = 1,40 H mínimo

Siempre es recomendable que el centro de la "U" esté equidistante entre las dos derivaciones de manera que se tenga:

$$L_0 = L_0 / 2$$

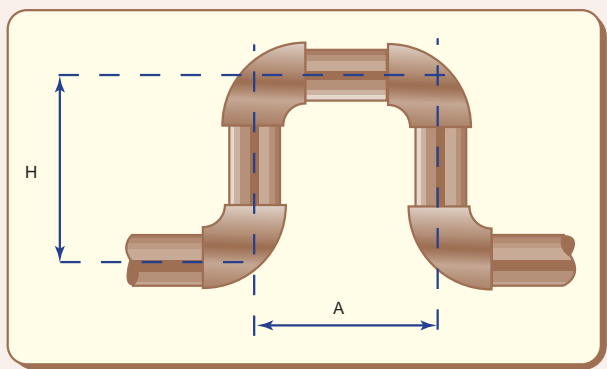
**TABLA 3.10** Largo H en cm del compensador de dilatación cuadrado con accesorios, en función del diámetro exterior del tubo D en mm y de la dilatación A en mm, absorbida

Diámetro exterior D (mm)	Dilatación DL (en mm)									
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
10	5,8	5,2	10,2	11,6	13,0	14,2	15,4	16,4	17,4	18,4
12	6,4	9,0	11,0	12,7	14,2	15,6	16,8	18,0	19,1	20,1
14	6,9	9,7	11,9	13,8	15,4	16,8	18,2	19,5	20,6	21,7
15	7,1	10,1	12,3	13,2	15,9	17,4	18,8	20,1	21,3	22,5
16	7,4	10,4	12,7	14,7	16,4	18,0	19,5	20,8	22,1	23,3
18	7,8	11,0	13,5	15,6	17,4	19,1	20,6	21,4	23,4	23,3
20	8,2	11,6	14,2	16,4	18,4	20,1	21,7	23,3	24,7	24,7
22	8,6	12,2	14,9	17,3	19,3	21,1	22,8	24,4	25,9	26,0
25	9,3	13,0	15,9	18,4	20,6	22,5	24,3	26,0	27,6	27,3
28	9,7	13,8	16,8	19,5	21,7	23,8	25,7	27,5	29,2	29,1

Fórmula  $A = 1,3\sqrt{D * \Delta L}$

### 3.6.2 Compensador de Expansión en "U" con Accesorios.

En la figura 3.21 se muestra un compensador de expansión en U construido con accesorios soldados. En la construcción se emplean tubos de cobre de temple duro y codos de 90°. La U puede ser cuadrada, en este caso H = A, o puede ser rectangular, H = 2\*A. El valor de H es función del diámetro del tubo y de la dilatación y se encuentra tabulado en las Tablas 3.10 y 3.11.



**FIGURA 3.21** compensador de dilatación en U construido con accesorios (Codos de 90°)

**TABLA 3.11** Largo H (en cm) del compensador de dilatación rectangular con accesorios, en función del diámetro exterior del tubo D (en mm) y de la dilatación A (en mm), absorbida

Diámetro exterior D (mm)	Dilatación DL (en mm)									
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
10	6,7	9,5	11,8	13,4	15,0	16,4	17,8	19,0	20,2	21,2
12	7,4	10,4	12,7	14,7	16,4	18,0	19,4	20,8	22,1	23,2
14	7,9	11,3	13,8	15,9	17,8	19,4	21,0	22,5	23,8	25,1
15	8,2	11,6	14,2	16,4	18,4	20,1	21,7	23,2	24,6	26,0
16	8,5	12,0	14,0	17,0	19,0	20,8	22,5	24,0	25,5	26,8
18	9,0	12,7	15,6	18,0	20,1	22,1	23,8	24,7	27,0	28,5
20	9,5	13,4	16,4	19,0	21,2	23,2	25,1	26,8	28,5	30,0
22	10,0	14,1	17,2	19,9	22,2	24,4	26,3	28,1	29,9	31,5
25	10,6	15,0	18,4	21,2	23,7	26,0	28,1	30,0	31,8	33,5
28	11,2	15,9	19,4	22,5	25,1	27,5	29,7	31,8	33,7	35,5

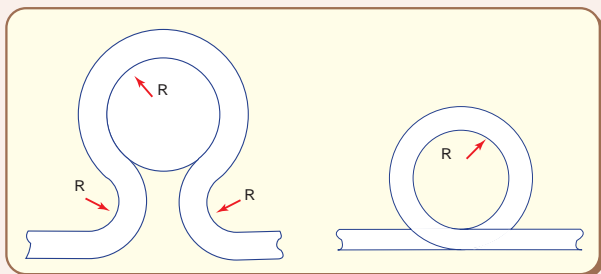
Fórmula

$$A = 1,3\sqrt{D * \Delta L}$$

### 3.6.3 Compensadores de Expansión tipo Omega y en Espiral.

Los compensadores del tipo omega (lira) y de espiral se muestran en la figura 3.22.

En la Tabla 3.12 se encuentran los radios de los compensadores tipos omega y espiral en función del diámetro del caño y de la dilatación que deben absorber.



**FIGURA 3.22.** compensadores de expansión tipos omega y espiral



**FIGURA 3.23.** soportes para fijación de tubos en muros

**TABLA 3.12.** Radio R (en cm) del compensador de dilatación tipo lira o en espiral en función del diámetro exterior del tubo D (en mm) y de la dilatación A (en mm) que debe absorber

Diámetro exterior D (mm)	Dilatación ΔL (en mm)									
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
10	2,9	4,1	5,1	5,8	6,5	7,1	7,7	8,2	8,7	9,2
12	3,2	4,5	5,5	6,4	7,1	7,8	8,4	9,0	9,6	10,1
14	3,4	4,9	6,0	6,9	7,7	8,4	9,1	9,7	10,3	10,9
15	3,6	5,0	6,2	7,1	8,8	8,7	9,4	10,1	10,7	11,3
16	3,7	5,2	6,4	7,4	8,2	9,0	9,7	10,4	11,0	11,6
18	3,9	5,5	6,8	7,8	8,7	9,6	10,3	10,7	11,7	12,3
20	4,1	5,8	7,1	8,2	9,2	10,1	10,9	11,6	12,3	13,0
22	4,3	6,1	7,5	8,6	9,6	10,6	11,4	12,2	12,9	13,6
25	4,6	6,5	8,0	9,2	10,3	11,3	12,2	13,0	13,8	14,5
28	4,9	6,9	8,4	9,7	10,9	11,9	12,9	13,8	14,6	15,4

Fórmula

$$R = 0,65 \sqrt{D * \Delta L}$$

### 3.6.4 Compensadores de Dilatación Tipo Fuelle.

Este tipo de compensador absorbe la dilatación a lo largo de su eje. Prácticamente no es utilizado en instalaciones de agua potable y se reserva para aplicaciones donde hay escasez de espacio en lugares como los navíos, por ejemplo.

Para su selección debe considerarse :

- Diámetro del tubo
- Presión máxima de servicio
- Presión en el accesorio de unión
- Temperaturas de trabajo
- Dilatación a ser absorbida
- Duración, o número de ciclos deseados

En la instalación debe cuidarse que el eje del compensador coincida con el tubo.



**FIGURA 3.24.** compensador de fuelle

### 3.7 Instalación Práctica del Tubo de Cobre.

#### 3.7.1 Operaciones para la Instalación.

1. Corte la cañería con sierra o con un cortador especial para tubos. Verifique que el corte sea perfectamente a escuadra.



**FIGURA 3.25.** corte del tubo de cobre

2. Lime el extremo del tubo y el corte para quitar todas las rebabas producidas por el mismo.



**FIGURA 3.26.** eliminación de rebabas

3. Limpie con lija o cepillo de alambre el interior de la válvula o conexión y la punta de la cañería que entra en ella, hasta que queden brillantes. Cuide remover toda suciedad, grasa o manchas de óxido.



**FIGURA 3.27.** limpieza interior del accesorio



**FIGURA 3.28.** limpieza del extremo del tubo



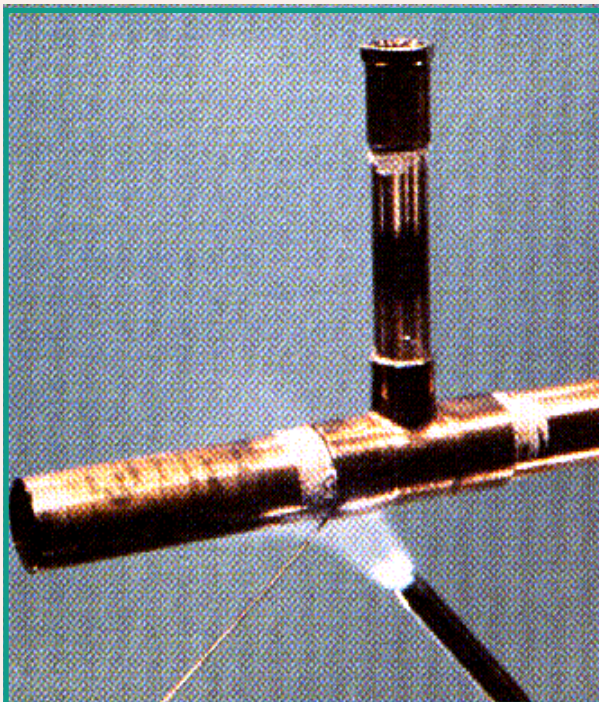
**FIGURA 3.29.** aplicación del fundente

4. Introduzca la cañería en la válvula o conexión hasta el tope. Gire en una y otra dirección para distribuir el fundente. Si se trata de una válvula, asegúrese que esté completamente abierta.



**FIGURA 3.30.** unión del tubo y el accesorio

5. Aplique la llama a la conexión para calentar la cañería. Pruebe la temperatura aplicando soldadura. Si se trata de una válvula, aplique primero el calor a la cañería y evite el calentamiento excesivo de la válvula.



**FIGURA 3.31.** calentamiento del tubo

6. Logrado el calentamiento necesario, retire el soplete y aplique la soldadura. La cantidad correcta de soldadura es aproximadamente igual al diámetro de la conexión:  $\frac{3}{4}$ " de soldadura para una conexión de  $\frac{3}{4}$ ". Limpie la soldadura sobrante con un cepillo o paño seco mientras todavía esté pastosa, dejando un filete alrededor del extremo de la conexión a medida que se enfría.



**FIGURA 3.32.** limpieza de la soldadura

### 3.7.2 Dificultades.

Si la soldadura no fluye o tiende a hincharse, es porque existe oxidación en las superficies metálicas o faltó mayor calentamiento de las piezas que van a ser unidas. Si la pieza comienza a oxidarse al ser calentada, indica muy poco fundente o que está tiene muy poca resistencia. Si la soldadura se niega a entrar en la unión y tiende a escurrirse fuera de cualquiera de las partes de unión, indica que este accesorio está recalentado o que la cañería no está lo suficientemente caliente, o ambos. En los dos casos, debe interrumpirse la operación y hay que desarmar, volver a limpiar y aplicar de nuevo fundente en la unión.

El consumo de fundente es aproximadamente de 125 gramos por cada kg de soldadura 50Sn-50Pb ó 95Sn- 5Sb.

### 3.7.3 Uniones Mecánicas.

Los tubos de cobre pueden unirse mecánicamente mediante conexiones roscadas, del tipo llamado uniones americanas, las cuales son fijadas al tubo expandiendo el extremo de este (abocardamiento o embocinados). La unión entre el tubo y la conexión es simplemente de contacto, por lo cual es muy importante que el abocardado se realice con las herramientas adecuadas.

### 3.7.4 Adhesivos Epóxicos.

Como una manera de facilitar el proceso de unión de los tubos de cobre, se han desarrollado adhesivos epóxicos capaces de unir tubos entre ellos y/o con conexiones de latón.

Este sistema da una alternativa de unión completamente estanca, al igual que la soldadura y que las uniones por los procesos mecánicos, y es de gran facilidad y rapidez de aplicación.



**FIGURA 3.33.** llaves de paso de cuproníquel y bronce