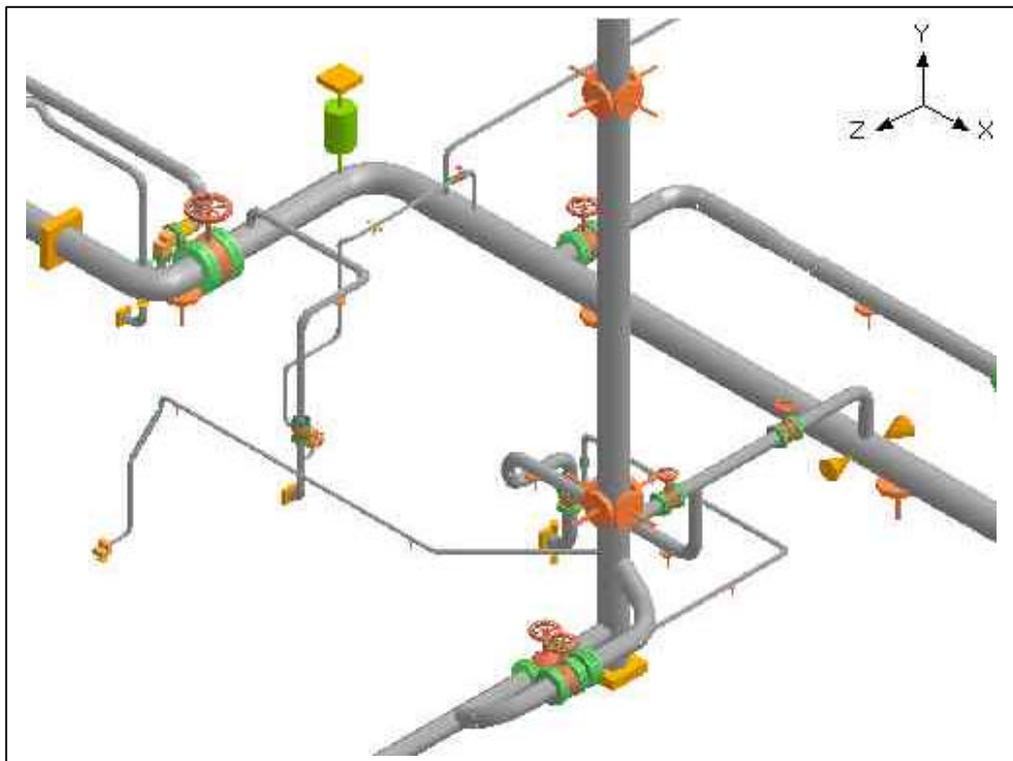


CURSO de
CAÑERÍAS INDUSTRIALES
(PIPING)



Ing. Fernando Golzman - 2003

CAÑERÍAS INDUSTRIALES (PIPING)

INDICE DE TEMAS

TEMA 1 — Materiales y accesorios

Definiciones

Materiales

Métodos De Fabricación

Fundición

Forja

Extrusión

Laminación

Caños con Costura

Caños y Tubos

Aceros al Carbono

Tipos de aceros al Carbono con o sin costura para conducción.

Caños de aceros aleados e inoxidables.

Medios De Unión

Uniones Roscadas

Uniones Soldadas

Soldadura a Tope

Soldadura de Enchufe (socket weld)

Soldadura Solapada

Bridas (Flanges)

Otros Medios De Unión

De Compresión

Uniones Patentadas (Juntas Dresser, Victaulic, etc)

Derivaciones especiales

Temperatura y Presión

TEMA 2 — Diseño hidráulico de Cañerías

Diseño hidráulico de cañerías

Cálculo del diámetro

Velocidades y Pérdidas De Carga Recomendadas

Determinación de la Presión de Prueba Hidráulica

Las Normas ANSI

Cálculo del espesor de pared

Cálculo por presión interna (ANSI B 31.1)

Cálculo por presión externa :

TEMA 3 — Especificaciones y Planos

Especificaciones de Cañerías

Especificaciones generales

Especificaciones de materiales

Listas de Líneas

Listas de Materiales

Diseño de Planos de Cañerías

Consideraciones básicas

Disposición de líneas no subterráneas

Agrupamientos

Cotas de cañerías y equipos

Drenajes, Venteos y Detalles

Importancia del conocimiento del proceso

Planos de Cañerías

Diagramas de flujo

a) Diagramas de Proceso.

b) Diagrama de Piping - Instrumentos (P&ID).

Planos de Planta y Elevación

Rutina para dibujar planos de planta - elevación

Planos isométricos

TEMA 4 — Fenómenos Ocasionales - Aislación de cañerías

Fenómenos Ocasionales

En operación

Prueba

Golpe de Ariete

Aislación de Cañerías

Cálculo para determinar la temperatura global sobre la superficie del material aislante

Cálculo para los casos de superficies no expuestas al aire

Importancia de la aislación complementaria de las bridas y las válvulas

Pérdida residual de calor sobre superficies planas

Pérdida residual de calor sobre cañerías

Cálculo práctico simplificado de las pérdidas de calor para las cañerías aisladas

Calentamiento de cañerías (tracing)

Sistemas usados para calentamiento.

TEMA 5 — Cañerías subterráneas — Corrosión - Recubrimientos

Cañerías Subterráneas

Análisis de cargas.

Deflexión y tensiones circunferenciales máximas

Deflexión o flecha máxima para materiales elásticos

Corrosión

Protección Catódica

Recubrimientos

Recubrimientos Internos

TEMA 6 — La temperatura en el diseño de Cañerías

La temperatura en el diseño de cañerías

Tensiones internas y reacciones provenientes de la dilatación térmica.

Como controlar la dilatación

Influencia del trazado en la flexibilidad de cañerías

Pretensionado y relajamiento espontaneo

Cálculos de flexibilidad

Métodos de análisis

Tensiones en flexibilidad

Calculo de las reacciones (cañerías metálicas)

Cálculo de flexibilidad por computadora

TEMA 7 — Soportes de Cañerías

Soportes de cañerías

Definición y Clasificación:

1.- *Soportes destinados a sostener pesos.*

2.- *Soportes destinados a limitar los movimientos de los caños.*

3.- *Dispositivos que absorben las vibraciones - amortiguadores*

Esfuerzos que actúan sobre los soportes.

Soportes rígidos

Contacto entre caños y soportes

Soportes Semi-rígidos

Soportes especiales para caños livianos

Soportes de contrapeso

Soportes que limitan los movimientos de las cañerías

Soportes para cañerías sujetas a vibraciones

Fuerzas de fricción sobre soportes

Juntas de expansión

TEMA 8 — Cañerías no Metálicas

Cañerías no metálicas

Polietilenos de alta densidad

Métodos de unión en cañerías de Polietileno.

Accesorios

Cálculos hidráulicos y estructurales.

Cañerías de PVC y CPVC

Resistencia Química

Resistencia y propiedades físicas del PVC Tipo I grado I clasificación 1114.

Cañerías De Poliester Reforzado (RTR-Reinforced Thermosetting Resin)

Materias primas y forma de construcción

Resinas Termoendurecibles

Laminado Estructural

Terminación Exterior

Cálculo del espesor de pared (ANSI B31.3)

- Apéndice A** **Tablas de Presión-Temperatura para Cañerías
Dimensiones – Lista de Normas**
- Apéndice B** **Fórmulas, Gráficos y Tablas para
Dimensionamiento
Hidráulico de Cañerías**
- Apéndice C** **Tablas y Gráficos para el trazado de Cañerías
Distancia entre ejes — Distancia entre soportes**
- Apéndice D** **Tablas y Gráficos para el cálculo de tensiones en
Cañerías de alta temperatura.**

TEMA 1

Materiales y accesorios

CONTENIDO

<i>Definiciones</i>	3
<i>Materiales</i>	3
<i>Métodos De Fabricación</i>	4
Fundición	4
Forja	5
Extrusión	5
Laminación	5
Caños con Costura	6
<i>Caños y Tubos</i>	8
Aceros al Carbono	9
Tipos de aceros al Carbono con o sin costura para conducción.	9
Caños de aceros aleados e inoxidables.	11
<i>Medios De Unión</i>	12
Uniones Roscadas	13
Uniones Soldadas	13
Soldadura a Tope	14
Soldadura de Enchufe (socket weld)	14
Soldadura Solapada	15
Bridas (Flanges)	15
<i>Otros Medios De Unión</i>	16
De Compresión	16
Uniones Patentadas (Juntas Dresser, Victaulic, etc)	16
Derivaciones especiales	17
<i>Temperatura y Presión</i>	18

Definiciones

Llámanse cañería a un conjunto de caños, conductos cerrados destinados al transporte de fluidos, y sus accesorios.

La gran mayoría de las cañerías actúa como conductos a presión es decir, sin superficie libre, con el fluido mojando toda su área transversal, a excepción de los desagües o alcantarillado donde el fluido trabaja con superficie libre, como canales.

La necesidad del uso de cañerías surge del hecho de que el punto de almacenamiento o generación de los fluidos se encuentra generalmente distante de los puntos de utilización.

Se usan para el transporte de todos los fluidos conocidos líquidos o gaseosos, para materiales pastosos o pulpa y para los fluidos en suspensión, en toda la gama de presiones que se usan en la industria, desde el vacío absoluto hasta presiones de hasta 4000 kg/cm²(400MPa) y desde cero absoluto hasta las temperaturas de fusión de los metales.

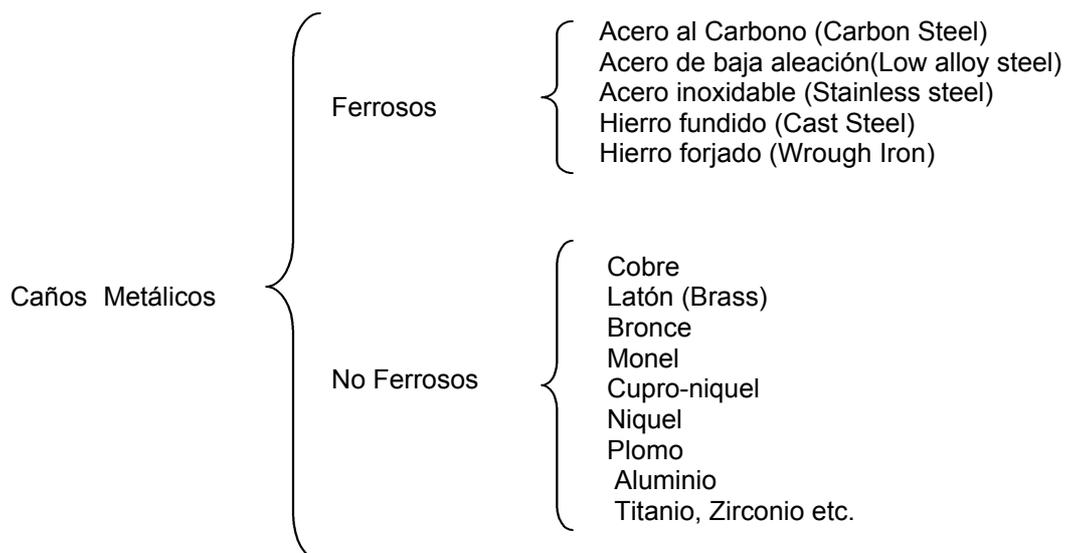
Su empleo se remonta a la antigüedad, pero su aplicación industrial y fabricación comercial recién se desarrolla a fines del siglo XIX por la necesidad de que los materiales resistieran las crecientes presiones motivadas por la utilización del vapor.

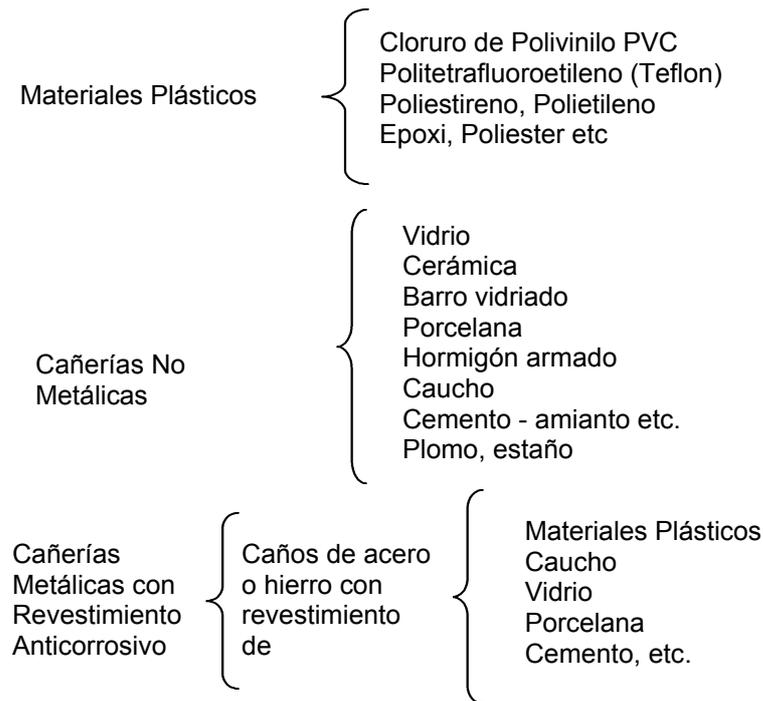
La importancia de las cañerías es muy grande y son, de los equipos industriales, los más usados. El costo puede llegar al 50% o 70% de los equipos de una planta de proceso y el 15% a 20% del total de la instalación. En complejos mineros estas cifras se reducen por la incidencia de costo de las instalaciones del tratamiento del mineral, pero representa un 6% a 8% de las HH de ingeniería y del 10% al 12% del costo total.

Estas son obviamente dependientes de la naturaleza de la instalación industrial, ya que en caso de una Refinería electrolítica de cobre, éstas cifras son superadas ampliamente.

Materiales

Se emplean en la actualidad gran variedad de materiales para la fabricación de cañerías. Las normas ASTM, por ejemplo, especifica más de 150 diferentes tipos. Podemos resumirlos en el siguiente cuadro :

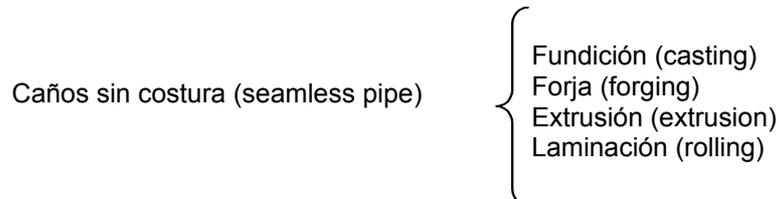




La elección del material adecuado para una determinada aplicación es siempre un problema complejo, cuya solución depende principalmente de la presión y temperatura de trabajo, del fluido conducido (aspectos de corrosión y contaminación), el costo, grado de seguridad requerida, sobrecargas externas, y en algunos casos, la resistencia al escurrimiento o pérdida de carga.

Métodos De Fabricación

Existen seis procesos de fabricación de caños.



Los procesos de laminación y de fabricación por soldadura son los más importantes y constituyen los 2/3 de todos los caños utilizados por la industria.

Fundición

En este proceso, el material en estado líquido se moldea tomando su forma final.

Se fabrican mediante este proceso los caños de hierro fundido, algunos aceros especiales no forjables y la mayoría de los no metálicos como vidrio, porcelana, barro vidriado, hormigón, cemento - amianto, cauchos, etc.

Para caños de hierro fundido y de hormigón de buena calidad se usa el procedimiento de centrifugado en el que el material líquido es colado en un molde rotativo que da como resultado una composición más homogénea de las paredes.

Para caños de hormigón se procede a controlar estrictamente la granulometría de los ácidos y la relación agua - cemento procediendo a vibrar los moldes en el hormigonado y desmoldando de inmediato.

Forja

Es el menos usado. Sólo se utiliza para caños de paredes gruesas, para muy altas presiones. El lingote de acero es previamente perforado en el centro con una broca, en frío. Luego la pieza es calentada en un horno y las paredes son forjadas con un martinete contra una mandril central. El lingote sufre durante la forja un notable aumento de longitud.

Extrusión

En la fabricación por extrusión, una pieza cilíndrica de acero en estado pastoso es colocado en un recipiente de acero debajo de una poderosa prensa. En una única operación, que dura pocos segundos se produce :

- 1) El émbolo de la prensa, cuyo diámetro es el mismo que el de la pieza, se apoya sobre la misma.
- 2) El mandril accionado por la prensa agujerea completamente el centro de la pieza.
- 3) De inmediato, el émbolo de la prensa empuja la pieza obligando al material a pasar por una matriz calibrada con el diámetro exterior de caño.

Para caños de acero, la temperatura de calentamiento de la pieza es de 1200 grados C. Las prensas son verticales y pueden alcanzar un esfuerzo de 1500t. Los caños salen de la operación con paredes gruesas. De allí son llevados aún calientes, a un laminador de cilindros o rolos para reducir su diámetro. Finalmente van a otros laminadores para lograr un diámetro final normalizado y reducción mayor del espesor. Con este proceso se fabrican caños de diámetro nominal de hasta 3" en acero y también de aluminio, cobre, latón, bronce, plomo y materiales plásticos.

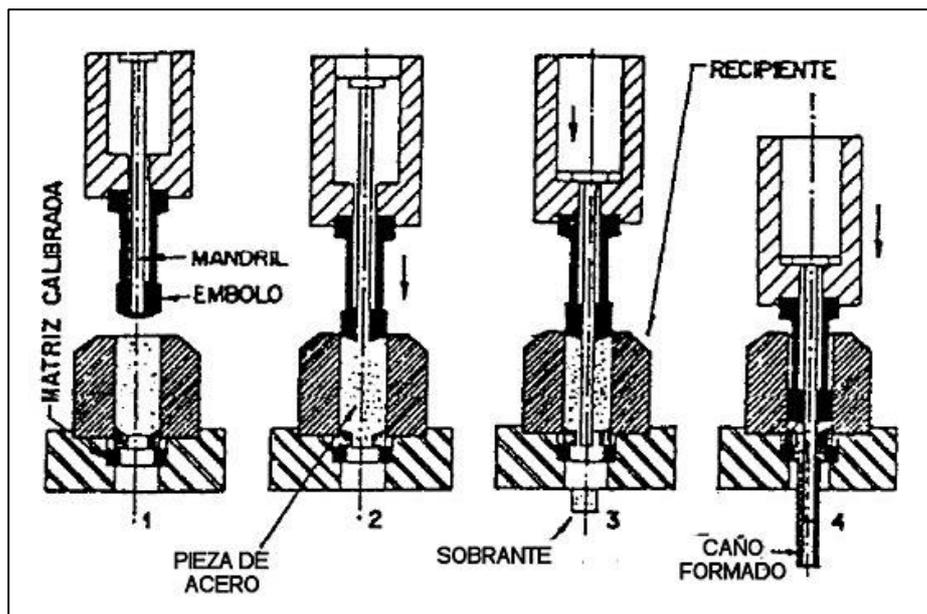


Fig. 1 Formación de caños por extrusión.

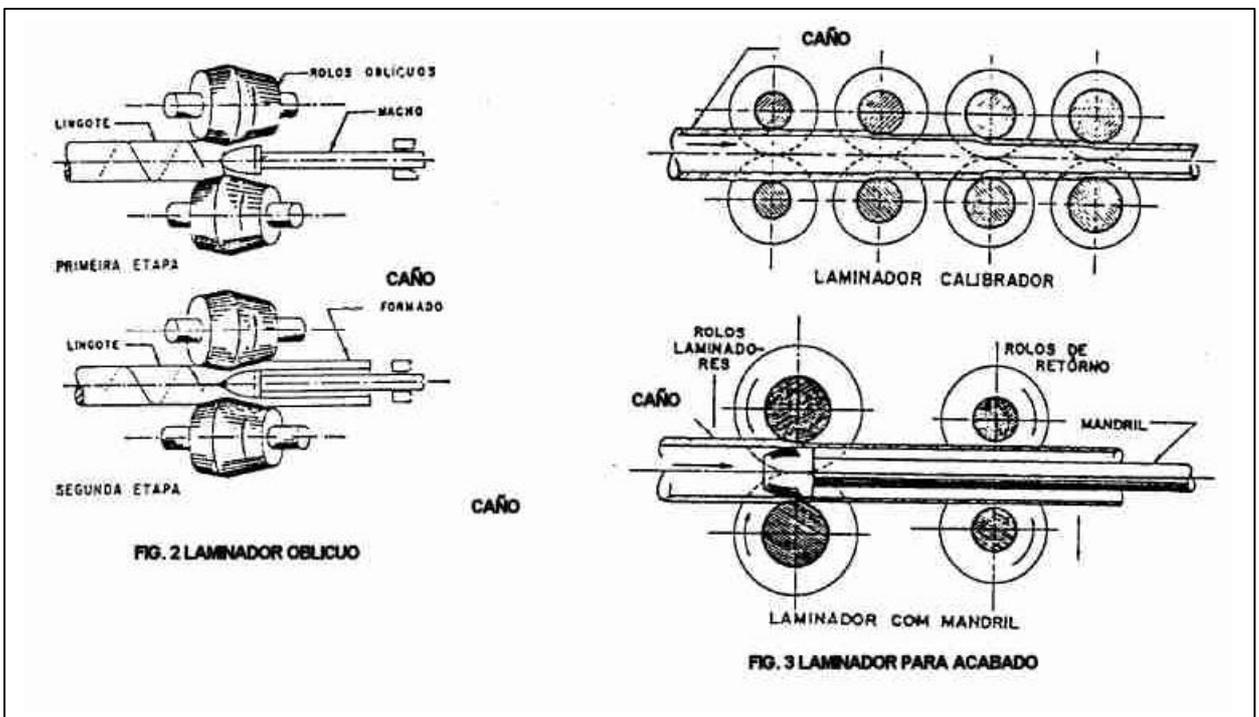
Laminación

Los procesos de laminación son los más importantes para la fabricación de caños sin costura. Se emplean para caños de acero al carbono, de baja aleación e inoxidables.

Uno de los más difundidos, el proceso "Mannesmann" es el siguiente :

1. Un lingote de acero con diámetro aproximado del caño que se quiere fabricar, se calienta a una temperatura de aproximadamente 1200 grados C y llevado al denominado " laminador oblicuo".

2. El laminador oblicuo está formado por rolos de doble cono, con ángulos muy pequeños. El lingote es colocado entre dos rolos que giran, lo presanan y a la vez le imprimen un movimiento de rotación y otro de traslación.
3. A consecuencia del movimiento de traslación el lingote es presionado contra un mandril cónico que se encuentra entre los rolos. El mandril abre un agujero en el centro del lingote, transformándolo en un caño y alisando continuamente la superficie interior del mismo. El mandril está fijo y su longitud es mayor que la del caño a formar (FIG. 2).
4. El caño formado en la primera operación tiene aún paredes muy gruesas. Es llevado entonces a un segundo laminador oblicuo, luego de haber sido retirado el mandril y estando aún caliente, que adelgaza las paredes ajustando el diámetro externo y aumentando su longitud.
5. Al pasar por los laminadores oblicuos el caño se curva. Se le hace pasar de inmediato por un tren enderezador consistente en rodillos con la curva del diámetro exterior del caño, dispuestos para ejercer fuerzas laterales que finalmente dejan el caño recto.
6. Finalmente el caño sufre una serie de calibraciones y alisado de las superficies interna y externa (FIG. 3). Este proceso se usa en caños de 3" a 12" y en Estados Unidos hasta 24".



Caños con Costura

Todos los caños con costura son fabricados a partir de flejes de acero laminado (bobinas). El tipo de unión es el de soldadura

FWP (Furnace Welded Pipe)

- 1) Un fleje continuo es empujado por cilindros que giran, introduciéndolo en un horno que lo lleva a una temperatura de aproximadamente 1200 grados Celsius (en la salida del horno).
- 2) Un grupo de cilindros colocado a la salida del horno deforman el fleje hasta cerrar un cilindro presionando fuertemente los bordes que a esa temperatura se sueldan.

Cañerías Industriales (Piping)

- 3) Luego el caño es cortado por una sierra cada 6, 9 ó 12m según sea la longitud requerida.
- 4) Los caños pasan por una calibradora y por un chorro continuo de agua que al mismo tiempo de enfriarlo le quita el laminillo o escamas que se forman en el proceso de enfriamiento.
- 5) Más tarde se los transporta a través de mesas de transferencia donde son sometidos a una lluvia continua de agua y una vez enfriado se los pasa por juegos de cilindros enderezadores. Finalmente se los frentea con tornos y cuando es requerido se procede a roscar los extremos.
- 6) Este proceso se usa para caños de hasta 3" de diámetro nominal.

ERW (Electric Resistance Welding)

- 1) En este caso la operación de formación del caño se realiza en frío, haciendo pasar el fleje continuo por rolos que gradualmente lo doblan hasta su forma cilíndrica.
- 2) Luego de formado el caño se cierra por soldadura continua ejecutada por máquina (arco sumergido en gas inerte).
- 3) El proceso se termina pasando el caño por enderezadores y si así fuere requerido por un tratamiento térmico en horno, para alivio de tensiones producidas en el área de la soldadura. Luego son frenteados y si es requerido, roscados.
- 4) En el caso antes descrito la soldadura es longitudinal y se utiliza para caños de hasta 4" de diámetro nominal.

Para diámetros mayores (hasta 24") es común utilizar soldadura helicoidal con arco sumergido. Según sea el espesor del material pueden ser requeridas dos o más pasadas externas y una interna.

Estos caños son de mejor calidad que los de soldadura por presión (en caliente).

La ventaja del caño formado a partir del fleje es que su espesor es uniforme, ya que se logra a partir de un tren de laminación, y el acomodamiento de la microestructura es conveniente desde el punto de vista tensional.

En cambio, la soldadura deberá ser inspeccionada por rayos X u otros procedimientos para que el mismo no incida sobre el espesor calculado.

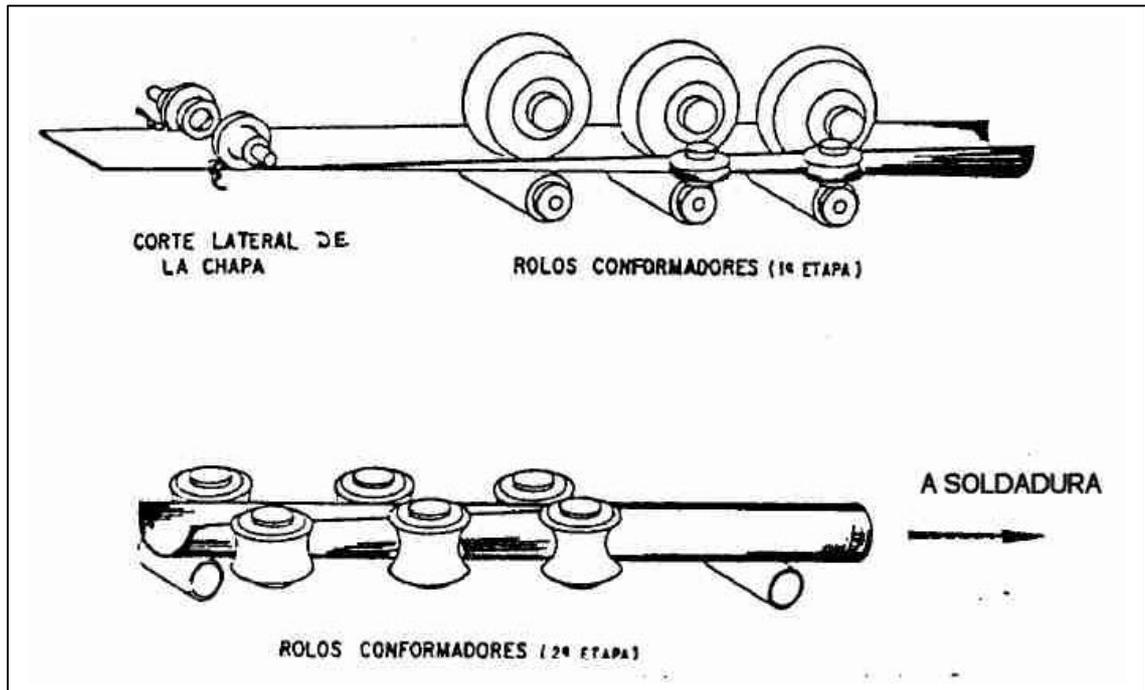


Fig. 4 Formación de Caños en frío

El caño sin costura no tiene este problema, pero la tolerancia de fabricación es del 12,5%, valor que deberá restarse del espesor nominal cuando se lo compara con el calculado.

Caños y Tubos

La denominación de "caño"(pipe) identifica a estos materiales por dos características fundamentales :

- 1) Sus diámetros nominales en pulgadas NO coinciden con los exteriores hasta 12" inclusive. De 14" en adelante el diámetro nominal coincide con el diámetro exterior.
- 2) Sus espesores son clasificados en series (schedules) que se obtienen por una fórmula de aproximación empírica :

$$\text{Sch.} = \frac{1000 P}{S}$$

donde P = presión interna en psi
S = tensión admisible del material en psi

En cambio los "tubos" (tubes) se caracterizan por :

- 3) Sus diámetros nominales COINCIDEN con los diámetros exteriores.
- 4) Sus espesores se definen por un número de calibre o gage BWG (Birmingham Wire Gage).

Para identificar un caño, basta pedir, por ejemplo **2" Sch. 40** significa un caño de 2,375" de diámetro exterior y 0,154" de espesor.

Para identificar un tubo, basta pedir, por ejemplo **2" BWG 12** significa un tubo de 2" de diámetro exterior y 0,109" de espesor.

Como se ve, son dos productos totalmente diferentes, aunque puedan ser usados para servicios idénticos.

Aparte de las diferencias en denominación, dimensiones y materiales, los tubos y caños se aplican para usos totalmente distintos.

Cuando la conducción constituye en si misma un elemento estructural se deberán utilizar caños, por su resistencia como tal. Del mismo modo, los diámetros de fabricación de los caños son mucho más amplias que la de los tubos que rara vez pasan las 6", siendo su uso más difundido hasta 2". Por otra parte, los requerimientos de fabricación de los tubos son más exigentes que los de los caños.

Así, rara vez se usan caños para un intercambiador de calor, donde el sellado se efectúa por mandrilado. El calibrado de los tubos y un menor espesor uniforme garantiza un mejor intercambio térmico sin que aumente rápidamente el ensuciamiento del equipo.

Aceros al Carbono

Representan los 2/3 de todos los materiales usados en cañerías.

Los límites de temperatura son -30 C a +400 C por sobre la cual no se usa por la precipitación de carburos en grafito que provoca una rápida disminución de la resistencia mecánica. Algunos aceros al carbono se revisten con una capa de ZINC de 0,1 mm aproximadamente, por inmersión a una temperatura de 500 C, llamado galvanizado, que provee mayor resistencia a la corrosión.

También, por sobre los 450 C se producen en los aceros al carbono deformaciones lentas por fluencia (creep) que son más acentuadas cuanto mayor es la temperatura y la variación de signos de las tensiones a que está sometido. En general, cuanto mayor es el porcentaje de carbono, mayor es la dureza y mayores los límites de fluencia y ruptura, pero menor será su soldabilidad y menor su capacidad de doblarse.

Los aceros tienen pequeños porcentajes de Mn(hasta 0,9%) que produce un incremento en los límites de fluencia y ruptura y de Si (hasta 0,1%) que aumenta la resistencia a la oxidación en altas temperaturas y resistencia al impacto a baja temperatura.

Los aceros al carbono con Silicio son también llamados "calmados" (Killed Steel) para distinguirlos de los "efervescentes" (rimed Steel) que no tienen Silicio. Los aceros al Carbono con Si tienen una estructura más fina y uniforme y son de mejor calidad que los "efervescentes", por lo que se recomienda su uso en altas temperaturas, aún siendo ocasionales (480 °C).

Para aceros al Carbono a bajas temperaturas (hasta -50 °C) ANSI B.31 permite su uso, exigiendo que se realicen ensayos de impacto (Charpy) para cada pieza.

Tipos de aceros al Carbono con o sin costura para conducción.

ASTM A-106 Caños de acero al Carbono sin costura, de 1/8" a 24" de alta calidad para temperaturas elevadas.

	C % max.	Mn %	Si %	Ruptura (Kg/mm ²)	Fluencia (Kg/mm ²)
Gr.A (bajo Carbono)	0,25	0,27-0,93	0,10	34	20
Gr.B (medio Carbono)	0,30	0,29-1,06	0,10	41	24
Gr.C (alto Carbono)	0,35	0,29-1,06	0,10	48	27

Cañerías Industriales (Piping)

Los caños grado C son fabricados sólo por encargo. Los grados A y B son usados para temperaturas sobre 400 C por largos períodos de tiempo.

ASTM A 53 Caños de acero al Carbono con o sin costura de calidad media 1/8" a 24" para uso general, negro o galvanizado.

La especificación distingue 4 grados; para curvado en frío debe usarse el Gr. A.

Aunque los límites de temperatura son similares que para el A106 no deben usarse por encima de los 400 °C. El ASTM A53 es el más usado por ser de menor precio que el A109.

ASTM A 120 Caños de acero al Carbono, con o sin costura de baja calidad 1/8" o 12" sin garantía de calidad, negro o galvanizado.

No deben ser doblados en frío ni sobrepasar temperaturas de 200 °C. No presenta exigencias de composición química.

API 5L Especificación del "American Petroleum Institute" de calidad media. Diámetro 1/8" a 36" negros, con o sin costura. Los grados y requisitos de composición química son similares al ASTM A53.

API 5LX Especificación para caños con o sin costura, de acero al Carbono de alta resistencia empleados en oleoductos. No deben ser utilizados por sobre los 200° C.

Aceros al Carbono con costura (Welded Pipes) :

ASTM A-134 Para caños fabricados con soldadura de arco protegido para diámetros sobre 16" y espesores hasta 3/4" con soldadura longitudinal o en espiral.

ASTM A-135 Para caños fabricados con soldadura de arco protegido para diámetros de hasta 30".

ASTM A-155 Para caños fabricados con soldadura de arco protegido para diámetros de hasta 30".

ASTM A-211 Para caños con soldadura en espiral. En diámetros de 4" a 48".

Tubos de acero al Carbono.

ASTM A-83 Para tubos sin costura para calderas en diámetros de 1/2" a 6".

ASTM A-178 Especificación para tubos fabricados por soldadura de resistencia eléctrica, para calderas de media y baja presión, en diámetros de 1/2" a 6".

ASTM A-179 Para tubos sin costura, trefilados en frío para intercambiadores de calor en diámetros de 1/2" a 2".

ASTM A-214 Para tubos con costura, soldados por arco protegido, para intercambiadores de calor en diámetros de 1/2" a 2".

ASTM A-192 Para tubos sin costura, para calderas de alta presión, de acero al Carbono calmado (con Si) en diámetros de 1/2" a 7".

Caños de aceros aleados e inoxidables.

Podemos clasificar los aceros de baja aleación en:

- ◆ Aceros de baja aleación (low alloy steel), cuando tienen hasta 5% de elementos adicionales.
- ◆ Aceros de media aleación (intermediate alloy steel), cuando tienen de 5% a 10% de elementos adicionales.
- ◆ Aceros de alta aleación (high alloy steel), más de 10% de elementos adicionales.

De todos estos materiales, los de mayor utilización son los de baja aleación, compuestos ferríticos (magnéticos) con agregado de cromo, molibdeno, y a veces, níquel.

Desde el punto de vista económico, no es conveniente usar aceros aleados para prolongar la vida de las cañerías, ya que las instalaciones industriales tienen una duración limitada y su costo es varias veces mayor que los del acero al Carbono.

Los casos en que se justifica usar aceros aleados o inoxidables son los siguientes :

- a) Altas temperaturas.
- b) Bajas temperaturas (inferiores a -30 C) donde los aceros al Carbono se tornan quebradizos.
- c) Alta corrosión. En servicios corrosivos aun dentro de los recomendados para acero al Carbono, el comportamiento de los inoxidables es mejor para resistencia a la erosión o severa corrosión.
- d) Servicios de fluidos letales. Para caso de fluidos de alta peligrosidad y por razones de seguridad.
- e) Para evitar contaminación : Industria de la alimentación o farmacéutica, donde los óxidos o residuos de las cañerías de acero al Carbono pueden deteriorar la calidad de los productos.

Deben hacerse consideraciones de proceso y costo de mantenimiento, comparando cuánto cuesta la reposición o reparación de una cañería de acero al Carbono en comparación con el elevado costo inicial de una de acero inoxidable.

Los aceros inoxidables no sólo tienen mejor comportamiento frente a los problemas de corrosión y erosión sino que además poseen mayores tensiones de fluencia y rotura. El costo del montaje y soldadura de las aleaciones también es mucho mayor que en el acero al Carbono.

La resistencia a la oxidación es proporcional (aprox) al contenido de Cr; siendo éste superior al 1% no se produce grafitización en la soldadura.

La temperatura máxima de trabajo puede llegar en algunos casos a 650 C.

El agregado de Ni contribuye a combatir la tendencia de los aceros al Carbono a volverse quebradizos a bajas temperaturas. Por esa razón es usado en servicios criogénicos.

El Mo es el elemento más eficiente para mejorar el comportamiento a altas temperaturas, aumentando mucho la resistencia a la fluencia.

La resistencia de los aceros aleados a la acción atmosférica y al agua dulce es mejor que la de los aceros al Carbono, aunque también se oxidan.

Frente a los ácidos, álcalis calientes y agua salada el comportamiento de los aceros aleados es semejante al de los aceros al Carbono.

Los aceros con mayor cantidad de Cr resisten muy bien a los hidrocarburos calientes con impurezas sulfurosas, y resisten muy bien las modificaciones de la estructura cristalina producida por el Hidrógeno, en alta presión y temperatura (comportamiento quebradizo).

Cañerías Industriales (Piping)

La especificación más importante para caños de baja aleación es la ASTM A 335 para alta temperatura y la A333 para baja temperatura , cuyos grados principales son :

		Elementos %			Límites de temp. °C(Serv. Cont.)
		Cr	Mo	Ni	
A 335	P-1	-	1/2	-	590
A 335	P-5	5	1/2	-	650
A 335	P-11	1-1/4	1/2	-	620
A 335	P-3	-	-	3	- 100

El agregado de Ni provee a las aleaciones que trabajan debajo de -30 C buena ductilidad y resistencia al impacto.

Los aceros inoxidable son aquellos que contienen Cr por sobre 11% y que en exposición prolongada a la intemperie no se oxidan. Los más usados son compuestos austeníticos, no magnéticos, de alta aleación (stainless steel) con 16% a 26% de Cr, 9 a 12% de Ni además de otros elementos. Son mucho más costosos que los de baja aleación y por eso menos usados.

Tienen gran resistencia a la rotura, especialmente a altas temperaturas y elevada resistencia a la mayoría de los fluidos industriales. Es resistente a los compuestos sulfurados y a la pérdida de ductilidad debida al hidrógeno libre (hydrogen embrittlement). Es un buen inhibidor de la grafitización a altas temperaturas.

Son inertes en relación a la mayoría de los compuestos orgánicos, pero están sujetos a severa corrosión alveolar (pitting) cuando están en contacto con agua de mar y numerosos compuestos clorados. La soldadura en los aceros inoxidable es más costosa y complicada que en los aceros al Carbono ya que deben hacerse con protección especial de gas inerte (argón), con electrodos de tungsteno y material de aporte afin con las partes a soldar.

La especificación más importante de aceros inoxidable es la ASTM A-312 que abarca varios tipos de materiales denominados "Aceros 18-8" de los cuales los más usados son los siguientes :

CON TRATAMIENTOS TERMICOS					
Tipos AISI	CROMO	NIQUEL	OTROS	TENSION DE RUPTURA	TENSION DE FLUENCIA
304	18	8		58 Kg/mm²	24 Kg/mm²
16	18	8	2.5 Mo	58 Kg/mm²	24 Kg/mm²
321	18	8	0.4 Ti	58 Kg/mm²	24 Kg/mm²
347	18	8	0.8 (Cb * Ta)	58 Kg/mm²	24 Kg/mm²

Los aceros inoxidable pueden trabajar desde -270 C hasta 800 C en servicio continuo; algunos pueden trabajar hasta 1100 C. El agregado de Ti o Cb (aceros inoxidable estabilizados) tiene por finalidad evitar la precipitación de carbono entre temperatura de 450 C a 850 C en ambientes corrosivos, fenómeno que ocurre en los no estabilizados.

Medios de Unión

Los diversos medios de unión sirven no sólo para vincular secciones de caños entre si, sino también para conectarlos con diversos accesorios, válvulas y equipos.

Los principales medios de unión son los siguientes :

- ◆ Conexiones roscadas (Screwed joints)
- ◆ Conexiones soldadas (Welded joints)
- ◆ Conexiones bridadas (Flanged joints)
- ◆ Conexiones de enchufe (Socket Welded joints).

Existen otros tipos de conexiones, entre ellas las del tipo Victaulic, juntas elásticas, de cierre rápido, etc.

Muchos factores inciden en la elección del tipo de unión costo, operatividad, seguridad, presión y temperatura de trabajo, fluido contenido, diámetro del caño, etc.

Uniones Roscadas

Son unos de los medios más antiguos de conexión. Son de bajo costo y fácil ejecución, pero su uso está limitado a 4" (max) en general y se usan en instalaciones secundarias de baja presión, (condensado, aire, agua), domiciliarias (agua, gas) debido al peligro de pérdidas y la baja resistencia mecánica de las mismas.

La norma ANSI B 31 exige que las roscas de los caños sean cónicas y recomienda que se efectúen soldaduras de sello para cañerías que conduzcan fluidos inflamables, tóxicos y en otros donde se debe tener absoluta seguridad que no se produzcan filtraciones o pérdidas. Son las únicas usadas para caños galvanizados. Se usan también en acero al Carbono, baja aleación, hierro fundido, plásticos, vidrio y porcelana, siempre limitadas a 4".

Para acero inoxidable y metales no ferrosos es muy raro el uso de roscas, debido a que son comunes los espesores finos en dichos materiales.

Los tramos rectos son unidos por medio de cuplas o uniones roscadas. Las roscas cónicas aseguran mejor sellado pero para asegurarlo se coloca una banda de teflón. Antiguamente se usaban otros materiales, litargirio - glicerina, fibras vegetales, etc., pero en su mayor parte dificultaban el desarme de las piezas y aún contaminaban el fluido.

En los caños es recomendable no usar espesores menores que Sch. 80 por el debilitamiento de la pared que significa la rosca.

Uniones Soldadas

Las más utilizadas son las soldaduras de arco protegido, que pueden ser :

- A tope (butt weld)
- De enchufe (socket weld)

VENTAJAS :

- Buena resistencia mecánica (casi siempre equivalente a la del caño)
- Estanqueidad perfecta y permanente
- Buena apariencia
- Facilidad en la aplicación de aislación y pintura
- Ninguna necesidad de mantenimiento.

DESVENTAJAS :

- Dificultad en desmontaje de las cañerías
- Mano de obra especializada

Soldadura a Tope

Es la más usada en la unión de caños de 2" o mayores en aceros de cualquier clase. Se aplica a toda la gama de presiones y temperaturas. Los caños y demás accesorios para soldadura a tope, deben tener sus extremos preparados con biseles que dependen del espesor del caño.

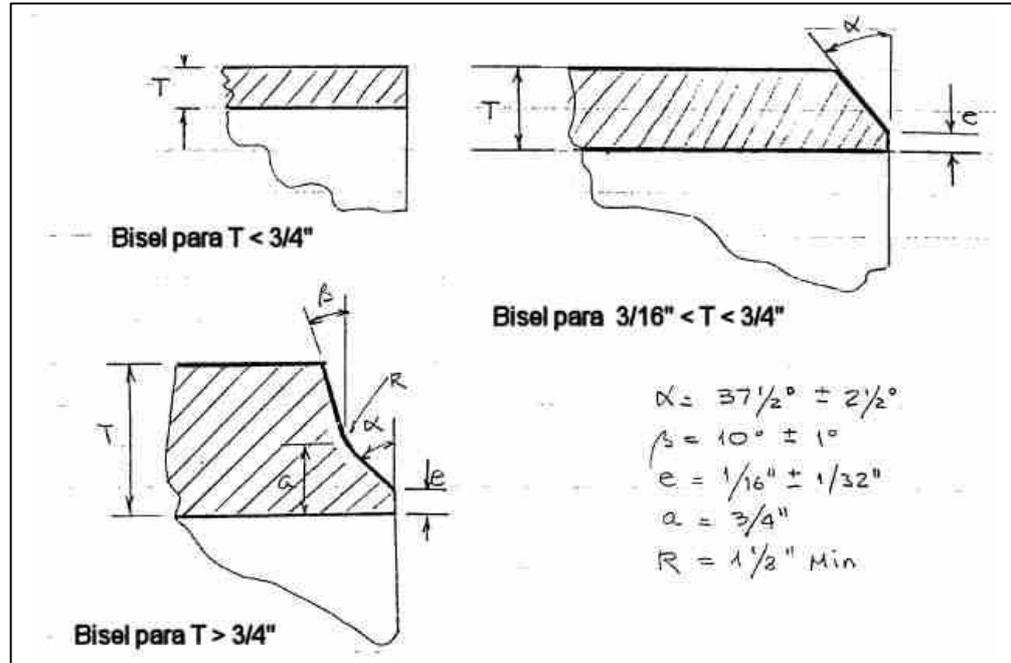


Fig. 4 – Soldaduras a tope

Para lograr más estanqueidad y especialmente para alta presión se usan chapas de respaldo que quedan incluidas en las soldaduras. Estos anillos tienen 1/8" de espesor y se usan en diámetros grandes (20" o mayores). Ver ANSI 31.3 Fig 328.3.2.

Soldadura de Enchufe (socket weld)

Son empleados para diámetros de hasta 1 1/2" en caños de acero y hasta 4" para los no ferrosos y plásticos.

Los extremos del caño se encajan en una cavidad del accesorio o acoplamiento y se realiza una soldadura de filete.

Ver ANSI B31.3 Par 328.5.2 y figura 328.5.2 A, B y C.

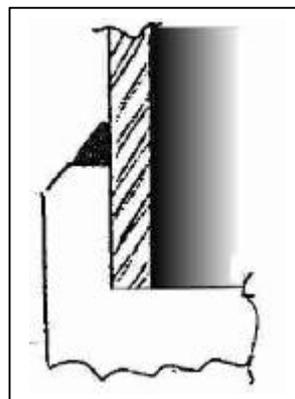


Fig. 5 – Soldadura de enchufe

Soldadura Solapada

Se utiliza en caños de plomo o en algunos plásticos. Unos de los extremos, de mayor diámetro, entra en el extremo del otro caño y se sella con una única soldadura de filete.

Bridas (Flanges)

Están compuestas por dos bridas, una junta, pernos con o sin cabeza roscados y tuercas. Son fácilmente desmontables. Existen los siguientes tipos :

- ◆ De cuello soldable (Welding Neck)
- ◆ Deslizantes (Slip on)
- ◆ Roscadas (Screwed)
- ◆ De enchufe (Socket Weld)
- ◆ Lap Joint
- ◆ Ciegas.

Las caras de las bridas pueden ser lisas (flat face), con resalto (Raised face), de anillo (Ring Joint Type) y macho-hembra (male & female).

Las juntas pueden ser de materiales, diversos como caucho, resinas revestidas en inox, espiral y metálicas. El asbesto ha sido desechado por su acción cancerígena. Los materiales más usados son los aceros forjados y las bridas formadas a partir de chapa torneada, éstas últimas para bajas presiones.

Una de las normas que regula la fabricación de bridas (flanges) es la ANSI B16.5, que establece las siguientes clases, según sea el intervalo presión-temperatura de trabajo 150#, 300#, 400#, 600#, 900#, 1500# y 2500#. Para las bridas de acero al Carbono la temperatura máxima es de 260 C (500 F) para 150 y de 455 C (850 F) para las demás clases. La variación de presión-temperatura es de valores más altos para acero inoxidable y aleados. Se pueden graficar de la siguiente manera :

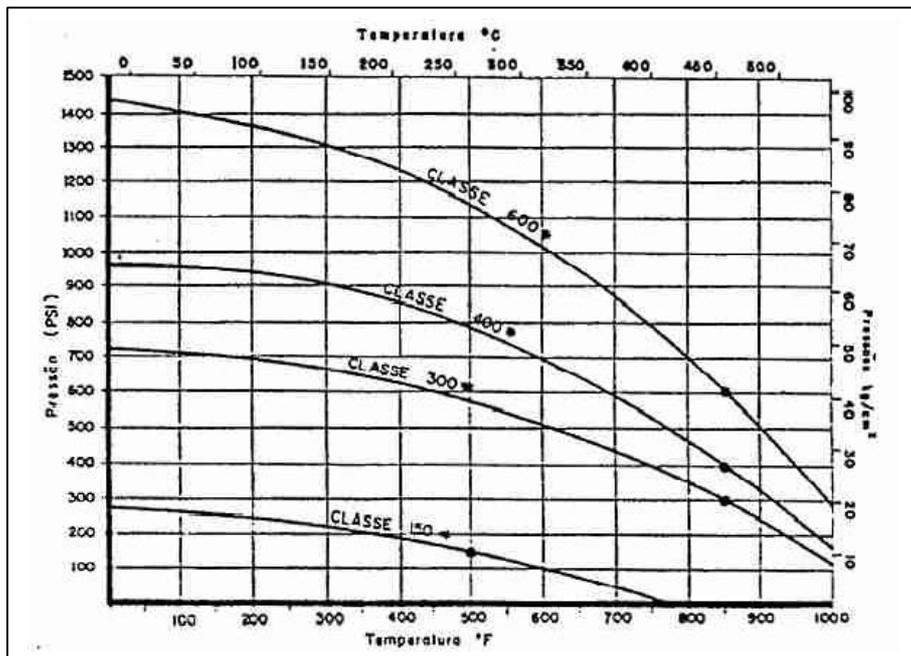


Fig. 6 – Relación Presión - Temperatura para algunas clases de accesorios

Otros Medios De Unión

De Compresión

Son sistemas muy usados en tubos de metales no ferrosos e inoxidables, todos de pequeño diámetro. (hasta 1")

La unión se logra con el uso de accesorios especiales, que mediante el apriete de una tuerca comprime las paredes del tubo contra una cupla hasta lograr un contacto metal - metal estanco. Hay diferentes sistemas. Uno de ellos consiste en expandir el tubo en la punta, en forma cónica. Este cono es comprimido contra una pieza de unión.

Otro sistema consiste en agregar una virola en el extremo del caño que, comprimida contra la pieza de unión va reduciendo su diámetro abrazando al tubo, que logra así estanqueidad.

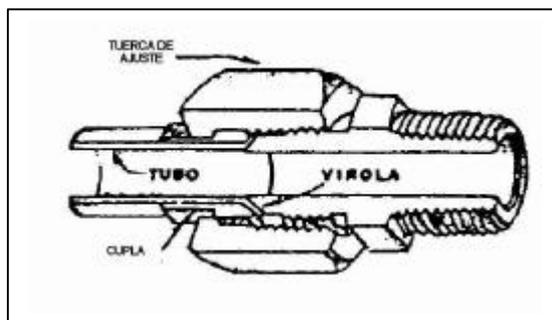


Fig. 7 - Unión para alta presión

Son usados para instrumentación y conducción de aceite hidráulico y resisten presiones de hasta 2000 Kg/cm².

Uniones Patentadas (Juntas Dresser, Victaulic, etc)

Todas ellas son del tipo no rígido, permitiendo siempre un pequeño movimiento angular y axial entre los dos tramos de la cañería. En el caso de las juntas Victaulic, los tramos de caño son ranurados en los extremos del mismo modo que los accesorios (codos, reducciones, etc.) y los acoplamientos son dos o más arcos pivotados sobre pernos que abrazan a los elementos de unión y son ajustados por uno o más pernos.

Entre la unión metálica y el caño se coloca una junta flexible (caucho) que garantiza su estanqueidad. El sistema es más caro que la cañería soldada tradicional pues requiere preparación de extremos y accesorios, pero aparte de la facilidad de montaje (sobre todo en zonas de gases explosivos) tiene la gran ventaja de poder recuperar todos los elementos en cañerías de uso por tiempo limitado.

Haciendo un balance final, es muy conveniente su aplicación en muchos casos, en particular en minería, donde el agotamiento de los minerales explotables en plazos previsibles hace necesario un tendido de cañerías secuencial a medida que se van agotando las zonas con alta ley de mineral y son reemplazadas por otras nuevas.

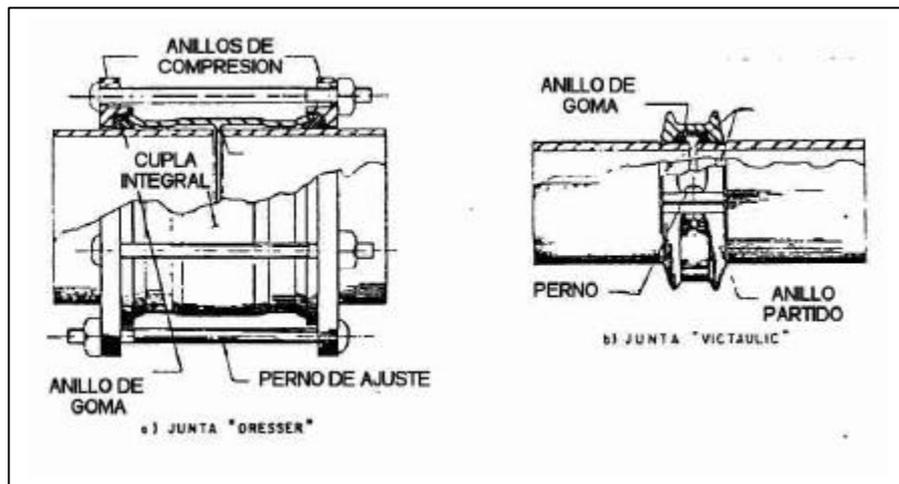


Fig. 8 – Uniones Dresser y Victaulic

Derivaciones especiales

Los ramales en las cañerías suponen un debilitamiento en la cañería principal por extracción de parte de su sección. Cuando los espesores de pared están calculados con cierta precisión y no hay excedentes de pared disponible se refuerza la unión con una montura (saddle) o con un anillo que se hace con el mismo caño u otra chapa de características similares.

La sección necesaria se calcula por medio de la NORMA ANSI PAR. 304.3 en el caso de ANSI B31.3 o sus similares en otras normas aplicables.

Este tipo de derivaciones se usa cuando la diferencia de diámetros entre la línea principal y el ramal es tan grande que su relación está fuera de los accesorios (te) de fabricación standard o en diámetros grandes.

Cuando los ramales son de pequeño diámetro se utilizan los llamados Weldolet (soldado), Elbolet (en un codo), Latrolet (en ángulo), Sweepolet (en montura), Sockolet (ramal socked) y Thredolet (roscada), todas ellas conexiones de pared reforzada para las derivaciones desde una cañería principal.

Su uso evita la utilización de placas de refuerzo de pequeño diámetro que trae como consecuencia una enorme cantidad de soldadura en áreas reducidas y por tanto concentración de tensiones residuales en la zona del ramal.

Temperatura y Presión

El efecto de la temperatura sobre bridas (flanges) y válvula determina algunas veces las puntas de mínima resistencia de una cañería al disminuir la tensión admisible del material. La presión origina tensiones en todos los elementos componentes de la cañería. En el caso de los elementos de unión, bridas, válvulas, cuplas etc., la combinación de los dos factores de presión y temperatura inciden en el cálculo de dimensionamiento de estos elementos.

A fin de normalizar éstas dimensiones las ANSI B16.5 , que regulan su fabricación, han establecido una relación presión - temperatura que permite, sin necesidad de calcular cada accesorio o válvula, una elección correcta y que ayudará posteriormente a determinar la capacidad de trabajo de la cañería, comprobando cuáles son sus elementos de menor resistencia.

Esta relación está tabulada en las PRESSURE - TEMPERATURE RATINGS, agrupadas para cada clase de presión (150# ,300# ,600# ,etc.) y para cada tipo de accesorio (válvulas, bridas, cuplas, etc.).

Es de hacer notar que la relación primaria (Primary Rating) definida como máxima temperatura admisible para presiones "non shock", está resaltada en las tablas, se usa para altas temperaturas. La relación para trabajo en frío (Cold Working Pressure Rating CWP) es aquella referida a las temperaturas de -20 F a 100 F y se aplica para hidráulica y refrigeración.

La elección de juntas y pernos deberá estar acorde con la presión y temperatura de servicio.

TEMA 2

Diseño hidráulico de Cañerías

CONTENIDO

<i>Diseño hidráulico de cañerías</i> _____	2
Cálculo del diámetro _____	2
Velocidades y Pérdidas De Carga Recomendadas _____	3
Determinación de la Presión de Prueba Hidráulica _____	4
<i>Las Normas ANSI</i> _____	5
Cálculo del espesor de pared _____	5
Cálculo por presión interna (ANSI B 31.1) _____	6
Cálculo por presión externa : _____	7

Diseño hidráulico de cañerías

Cálculo del diámetro

El dimensionamiento del diámetro de los caños es casi siempre un problema de hidráulica, resuelto en función del caudal necesario del fluido, de las diferencias de cota existentes, de las presiones disponibles, de las velocidades y pérdidas de carga admisibles, de la naturaleza del fluido y del material y tipo del caño.

Estos cálculos generalmente son realizados por el equipo de diseño de proceso. Por este motivo no se incluirán en este curso todos los recursos, curvas, tablas y demás información requerida para este tipo de cálculo, sino sólo los conceptos y algunas fórmulas que deberán ser completadas con bibliografía del tema.

Se recomienda utilizar el libro *Flujo de Fluidos en Válvulas, accesorios y cañerías*, última edición traducida de la primera edición en inglés de "**Flow of Fluids Technical Paper 410**" de Crane de Mc Graw Hill/ Interamericana de México.

En algunos casos no es el cálculo hidráulico el determinante del diámetro del caño, sino otros factores de diseño. Por ejemplo, en líneas de poca longitud que conectan equipos, es más económico fijar el diámetro por el de las bridas (flanges) de los equipos, simplificando la instalación y economizando accesorios. También en el caso de diámetros por debajo de 2" es práctico sobredimensionar las líneas, economizando soportes y fundaciones aunque desde el punto de vista hidráulico, algunos diámetros menores sean satisfactorios.

Escurrecimiento de Fluidos por cañerías (Para fórmulas y Tablas ver Apéndice B)

Del escurrecimiento de los fluidos por una cañería, resulta siempre una cierta pérdida de energía del fluido, que se gasta en vencer las resistencias que se oponen al flujo, y que finalmente se disipa en forma de calor.

Las resistencias son de dos tipos :

- a) Externas, resultantes del rozamiento contra las paredes del caño, aceleraciones y cambios de dirección y la consecuente turbulencia producida.
- b) Internas, resultantes de rozamiento entre las propias moléculas del fluido, entre si, llamado viscosidad.

Las resistencias externas son tanto mayores cuanto mayores sean la velocidad del fluido y la rugosidad de las paredes y cuánto menor sea el diámetro.

Las resistencias internas son mayores cuanto mayor sea la velocidad y la viscosidad del fluido.

Esa parte de la energía perdida, llamada "pérdida de carga" (pressure loss) se traduce por una gradual disminución de la presión del fluido que va cayendo de un punto a otro en el sentido de escurrecimiento (pressure drop).

En el estudio de la transmisión de fluidos se acostumbra a dividir las redes de cañerías en tramos, de modo que no se incluya en ninguno de ellos máquina alguna (bomba, compresor, turbina, etc.) capaz de intercambiar trabajo con el exterior, absorbiendo energía del fluido o cediéndola al mismo.

De ese modo, la única variación de la energía del fluido se circunscribe entre los puntos extremos de línea y será la producida por la pérdida de carga.

Velocidades y Pérdidas De Carga Recomendadas

TIPO DE FLUIDO	Velocidades (ft/sec) para ϕ_n de:			ΔP -100ft Intervalo $\Delta P_{max}-\Delta P_{min}$ Caída de presión	LIMITE
	Hasta 2"	3" a 10"	12" o mayor		
LÍQUIDOS					
Succión bomba	1 - 2	2 - 4	3 - 6	0,2 - 0,5	ANPA (NPSH)
descarga corta cs	4 - 9	5 - 10	8 - 12	1,0-4,0	ANPA (NPSH)
descarga larga cs	2 - 3	3 - 5	4 - 7	1,0-3,0	ANPA (NPSH)
descarga corta ss	5 - 9	6 - 12	8 - 15	3,0-10,0	ANPA (NPSH)
descarga larga ss	3 - 5	5 - 10	6 - 12	1,0-6,0	ANPA (NPSH)
drenajes	3 - 4	3 - 4			ANPA (NPSH)
Aceite Viscoso					
Succión Bomba	0.5 max	0.5 - 0.75	0.5 - 1.0		ANPA (NPSH)
Descarga bomba	1 - 3	3 - 5	4 - 6		ANPA (NPSH)
Drenajes	1	1.5 - 3			ANPA (NPSH)
Ácido Sulfúrico					
90-100%t < 110 F cs	2.5	2 - 5	2.5		3.0 ft/s max.
90-100%t 110 F cs	2 - 3	3 - 5	4 - 6		7.0 ft/s max.
SO ₄ H ₂ diluido revestido en polipropileno		5 - 7			

Agua	en trechos cortos		
de enfriamiento	3 - 6		1 - 1.5
agua caliente	3 - 6		0.25 - 0.5

Cañerías Industriales (Piping)

TIPO DE FLUIDO	Velocidad ft/s	Pérdida de carga Psi/100 pie	Límite psi
Vapor de agua			
Hasta 30 psi (incl. esc.)	65 - 100	0.2 - 0.4	1.0
30-150 psi (sat. seco)	100 - 170	0.5 - 1.0	2.0
sobre 150 psi	100 - 250		
sobrecalentado	100 - 200		
Gases y vapores			
vapor de agua alto vacío	200 - 350		
vapor de agua vacío mod	150 - 200		
Aire y gases (promedio)	60-80 max	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0
Hidrógeno	60 - 70		
Aire comprimido	50 - 70		
Acetileno	70 - 85		
Gas cloro	50 - 70		
Cloro líquido	5.7		
Vapores torre destilación		0.2 - 0.5	0.5 - 1.0

Determinación de la Presión de Prueba Hidráulica

Salvo excepciones mencionadas más abajo, (par. 345.4.3 de ANSI). La presión de prueba hidrostática en cualquier punto de una cañería metálica será :

- a) No menor que 1,5 veces la presión de diseño
- b) Para temperaturas de diseño mayores que la de prueba, la presión de prueba mínima será la calculada por la siguiente ecuación, excepto que el valor de St / S exceda de 6.5

$$P_t = \frac{1.5 P St}{S}$$

Donde

P_t = presión de prueba hidrostática mínima (manométrica)

P = presión interna de diseño (manométrica)

St = valor de tensión admisible a temperatura de prueba

S = valor de tensión admisible a temperatura de diseño (Tablas A1 de ANSI)

- c) Si la Presión de Prueba, como se define arriba, fuera mayor que la tensión de fluencia a la temperatura de prueba, la presión máxima no excederá la fluencia a esa temperatura.

El par. 345.4.3 de ANSI establece los casos en que un sistema de cañerías debe probarse **junto con un recipiente a presión**. Son los siguientes:

- a) Cuando la presión de prueba de cañerías conectadas a recipientes a presión es la misma o menor que la presión de prueba del recipiente, la cañería deberá ser probada con el recipiente a la presión de prueba de la cañería.
- b) Cuando la presión de prueba de una cañería excede a la de un recipiente y no es practicable aislar la cañería del recipiente, ambos deberán ser probados juntos a la presión de prueba del recipiente. El propietario de la instalación deberá dar su consentimiento y además, la presión de prueba del recipiente no deberá ser menor que el 77% de la correspondiente de la cañería, calculada según la ecuación que antecede, de acuerdo a los par 345.2.4(b) ó A345.4.2.

Las Normas ANSI

Las NORMAS ANSI, incorporada a las ASME (American Society of Mechanical Engineers) son las más utilizadas para cálculo, diseño, fabricación, inspección y montaje de cañerías (ver lista de Standards).

En este curso tomaremos como base lo establecido en las ANSI B31.3, Petroleum Refinery Piping, como ejemplo, pero su aplicación deberá tenerse en cuenta conforme sea el tipo de servicio de la cañería. Si bien la regulación es diferente y los requisitos varían de una norma a otra, la estructura de todas las secciones es similar en todas la B31.

Las otras normas se refieren a la fabricación e inspección de distintos tipos de accesorios. Para materiales plásticos se agregarán las correspondientes normas aplicables. Aunque cada país ha elaborado sus propias normas sobre la materia y el uso de las ANSI no es obligatorio por ley, la generalidad de las empresas que contratan servicios de proyecto y montaje de cañerías industriales lo hacen refiriéndose a estas normas.

Las ISO, International Standard Association, y las DIN alemanas también son utilizadas para el mismo fin.

Las NORMAS ANSI son complementadas con las NORMAS API, American Petroleum Institute, las AWWA American Water Works Association, cuando el tipo de servicio así lo requiera o el propietario contratante lo indique.

Cálculo del espesor de pared

La tensión máxima en un caño recto se producirá en el sentido circunferencial, que es el duplo de la tensión longitudinal. Basado en éste concepto de la teoría de membrana para un caño sometido a presión interna, el cálculo de ANSI B31.3(par 304) el espesor mínimo será :

$$t_n = t + c$$

El espesor seleccionado no será menor que t_m + tolerancia de fabricación.

NOMENCLATURA

- tm** = Mínimo espesor requerido por presión, incluyendo tolerancia de fabricación, erosión y corrosión.
- t** = Espesor por diseño por presión interna o la determinada para presión externa.
- c** = La suma de las tolerancias mecánicas, (roscas, ranuras, etc.) más las tolerancias por erosión o corrosión. Para componentes roscados será la profundidad (h de la norma ANSI B 1.20.1 o equivalente) la que se aplicará. Para superficies maquinadas o ranuras donde la tolerancia no se ha especificado, se asume una tolerancia de 0,02" ó 0,5 mm. agregada a la profundidad especificada en el corte.
- d** = Diámetro interior del caño. Para cálculo de diseño por presión, el diámetro interior del caño es el máximo valor admisible bajo la especificación de compra.
- P** = Presión interna manométrica
- D** = Diámetro exterior del caño
- E** = Factor de calidad de Tablas A-1A ó A1B.
- S** = Valor de la tensión del material de tablas A1.
- T** = Espesor de pared del caño (medido, o el mínimo de la especificación de compra).
- y** = Coeficiente de Tabla 304.1.1, válido para $T < D/6$ y para cada material allí señalado. Los valores de **y** pueden ser interpolados.

**TABLE 304.1.1
VALUES OF COEFFICIENT Y
FOR $t < D/6$**

Materials	Temperature, °C (°F)					
	≤ 482	510	538	566	593	≥ 621
	(900 & Lower)	(950)	(1000)	(1050)	(1100)	(1150 & Up)
Ferritic steels	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7
Austenitic steels	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
Other ductile metals	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Cast iron	0.0	...	...	...	...	...

Cálculo por presión interna (ANSI B 31.1)

Para $T \leq D/6$ ó $P/SE \leq 0.385$:

$$t = \frac{P D}{2(SE + Py)} \quad (3a) \text{ en función del externo}$$

o también

$$t = \frac{P (d + 2c)}{2((SE - P) + (1-y))} \quad (3b) \text{ en función del interno}$$

También se puede utilizar la ecuación básica de la tensión circunferencial de membrana.

$$t = \frac{PD}{2 SE} \quad (3c)$$

Para valores de $t \geq D/6$ ó $P/SE \geq 0,385$

Se utilizará la fórmula de Lamé para paredes gruesas :

$$t = \frac{D}{2} \left[1 - \sqrt{\frac{SE - P}{SE + P}} \right]$$

Para la aplicación de esta ecuación, se requiere especial atención a factores tales como los efectos de fatiga y tensiones por temperatura.

Cálculo por presión externa :

ANSI establece que para determinar el espesor de un caño por presión externa se utilizará el código ASME VIII DIV. 1, párrafos UG.28, UG.29 y UG.30 con la siguiente excepción:

Para caños con relación $Do/t < 10$ el valor de S para ser usado en la determinación del espesor será el menor de los siguientes, para el material del caño a la temperatura de diseño :

- a) 1,5 veces la tensión de la tabla A-1 de ANSI B-31.3 ó
- b) 0,9 veces la tensión de fluencia de ASME VIII DIVISION 2.

TEMA 3

Especificaciones y Planos

CONTENIDO

<i>Especificaciones de Cañerías</i>	2
Especificaciones generales	2
Especificaciones de materiales	2
Listas de Líneas	4
Listas de Materiales	5
<i>Diseño de Planos de Cañerías</i>	5
Consideraciones básicas	5
Disposición de líneas no subterráneas	6
Agrupamientos	7
Cotas de cañerías y equipos	7
Drenajes, Venteos y Detalles	10
<i>Importancia del conocimiento del proceso</i>	11
<i>Planos de Cañerías</i>	11
Diagramas de flujo	12
a) Diagramas de Proceso.	12
b) Diagrama de Piping-Instrumentos (P&ID).	12
Planos de Planta y Elevación	13
Rutina para dibujar planos de planta - elevación	14
Planos isométricos	14

Especificaciones de Cañerías

Las especificaciones constituyen un documento legal de validez, en muchos casos contractual, en donde se detallan los requerimientos técnicos necesarios para efectuar una etapa o conjunto de etapas en el diseño, construcción, mantenimiento etc. de una instalación industrial.

No es posible abarcar en este curso la totalidad del tipo de especificaciones posibles de redactar, por lo que sólo veremos algunos casos más importantes de los innumerables que se pueden presentar para su aplicación en cañerías.

Especificaciones generales

Se emiten para regular todos los temas relativos a la especialidad, y contienen datos y prescripciones válidas para todos los servicios que se tengan.

Se utilizan para contratar ingeniería, cuando se emiten antes del inicio de un proyecto, por parte de una empresa que va a realizar una inversión destinada a una instalación industrial, y también durante el desarrollo de una ingeniería básica, de modo que pueda regular más tarde las diferentes etapas del proyecto.

Contienen por lo menos las siguientes informaciones :

- ◆ Códigos y normas que deben ser obedecidos.
- ◆ Abreviaturas y siglas empleada.
- ◆ Sistema adoptado para identificación de líneas.
- ◆ Prescripciones diversas sobre le proyecto, cálculo, trazado, fabricación, montaje y pruebas de las cañerías que se aplican en cada caso.

Los datos más importantes son los detalles básicos de distancias que se deben respetar entre las cañerías y equipar para evitar interferencias y facilitar su operatividad, la disposición de cañerías subterráneas, los drenajes y alcantarillado, la simbología a utilizar en diagramas, planos de planta - elevación y de detalle, soportes, isométricos etc.

Contienen además una descripción de los parámetros principales de los servicios básicos, temperaturas, presiones etc., y los requerimientos de cada fluido en relación a los materiales a usar, en líneas generales.

Especificaciones de materiales

Son las normas específicas escritas especialmente para cada clase de servicios y para cada proyecto o instalación.

Cada capítulo de la especificación acostumbra abarcar un número de servicios semejantes en una cierta gama de presiones y temperaturas, para las cuales puedan ser recomendadas las mismas especificaciones tipo y modelo de caños, válvulas y accesorios.

Para ello se hace coincidir la gama de variaciones de cada especificación con la de cada clase de presión nominal (Rating) de válvulas, bridas y accesorios. Así por ejemplo tendremos una especificación que incluye las variaciones de presión - temperatura para la nominal de 150# , otra para 300# .

Una misma especificación puede incluir uno o más servicios con el mismo o diferente fluido, ya que para diferentes servicios se pueden adoptar los mismos caños, válvula y accesorios. Así tendremos

Cañerías Industriales (Piping)

una especificación para hidrocarburos líquidos, otra para hidrocarburos gaseosos, otra para vapor vivo, otra para condensado, aire comprimido, etc.

En un determinado proyecto no se tendrá un número excesivamente grande de especificaciones diferentes, que complicaría el proyecto y dificultaría la compra y almacenaje de los materiales. Tampoco deberá tener un número pequeño de especificaciones, pues originaría gastos innecesarios por el uso no adecuado de muchos materiales.

Es evidente que existiendo una única especificación, ésta debería cubrir al servicio más severo, quedando así sobredimensionada para los demás.

Para la preparación de la especificación de materiales, el primer paso es confeccionar la lista de todos los servicios existentes, con sus características completas, presiones y temperaturas de operación. Hecha la lista, es posible agrupar los fluidos que puedan ser incluidos en una misma especificación, esto es, para los cuales se puedan recomendar los mismos materiales.

En todas las especificaciones deben constar obligatoriamente las siguientes informaciones :

- ◆ Sigla de identificación de la especificación
- ◆ Clase de fluido al cual se la destina
- ◆ Gama de variación de presión y temperatura
- ◆ Tolerancia de corrosión adoptada
- ◆ Caños : Material, proceso de fabricación, espesores recomendados para los distintos diámetros, y sistema de unión adoptado.
- ◆ Válvulas : Tipos empleados para bloqueo (esclusa (gate va.) esférica, etc.) para regulación (globo, aguja, diafragma), para retención, etc., con indicación completa de los materiales usados en su construcción, carcaza, vástago, proceso de fabricación, tipo de extremidades, clase de presión nominal, accionamiento etc.
- ◆ Bridas (flanges) y accesorios brindados; especificación del material, clase de presión nominal y tipo de caras.
- ◆ Accesorios para soldar y roscados : Material, proceso de fabricación, clase de presión nominal, espesor.
- ◆ Pernos (bolts-stud bolts) : tipo y especificación del material.
- ◆ Juntas; tipo, espesor, material.

Debe tenerse en cuenta que los materiales, clase de presión, espesores, etc. tanto de los caños como de las válvulas y accesorios, casi nunca son los mismos para todos los diámetros nominales de una misma especificación.

Las especificaciones deben tener en cuenta, si así lo requiere el caso, exigencias especiales de los procedimientos de soldadura y electrodos usados, tratamientos térmicos, revestimientos externos e internos, caso de empleo de codos en secciones (mattered bends) o de derivaciones soldadas los cuales deben constar en cada especificación.

Para el caso particular de las válvulas, es costumbre usar siglas que son adoptadas en diferentes hojas de esp. ya que se pueden aplicar a diferentes servicios.

Agrupadas las válvulas con sus siglas de identificación aparte, constituyen en si mismas otra especificación que facilita la compra y almacenaje de las válvulas.

Tanto las especificaciones generales como las de clase de materiales son usadas en la contratación de montajes de plantas industriales, en fabricación de cañerías y en las plantas ya en marcha, para las tareas de mantenimiento o ampliaciones, como guía de diseño.

Cañerías Industriales (Piping)

Son complementadas además con las siguientes especificaciones particulares de cada grupo de servicios

- ◆ Soldadura
- ◆ Aislación térmica
- ◆ Pintura y tratamiento de superficies
- ◆ Filtros (materiales e instalación)
- ◆ Sistemas de calentamiento (tracing)
- ◆ Cálculos de diámetro, espesores, flexibilidad.

En caso de especificaciones para mantenimiento, se incluyen los siguientes capítulos que configuran en sí mismos un contrato de carácter técnico-legal :

1. Alcance
2. Materiales y normas
3. Fabricación
4. Soldadura
5. Transporte
6. Almacenamiento
7. Montaje
8. Inspección
9. Puesta en marcha
10. Plazos de entrega
11. Garantías

Estos capítulos son un ejemplo que puede ampliarse o reducirse según sean los requerimientos de cada proyecto. El contratista los tomará en cuenta en su oferta técnica y si cumplen con la esp. general de materiales, de montaje etc. vigentes en la planta, ésta podrá ser técnicamente aceptable.

Listas de Líneas

Como complemento de los planos de cañerías, se emiten planillas con las características de cada línea, que si bien no forman parte de los mismos proveen todos los datos necesarios para identificarlas.

Estas hojas de datos o listas de líneas contienen las siguientes columnas :

- a) Número de línea
- b) Clase o tipo de fluido circulante
- c) Diámetro nominal
- d) Sigla abreviada de la especificación de materiales
- e) Extremos de la línea, es decir desde donde viene y hacia donde va
- f) Caudal, velocidad y pérdida de carga
- g) Temperatura y presión de operación
- h) Temperatura y presión de diseño
- i) Presión de prueba
- j) Aislación térmica si fuera requerido y tipo
- k) Necesidad de calentamiento (tracing) y tipo.

Listas de Materiales

Se incluyen algunas veces en los mismos planos o en documento aparte y en este último caso pueden incluir los materiales de varios planos.

Es recomendable que contengan todas las características de los materiales, incluyendo :

- a) Número de ítem
- b) Diámetro nominal
- c) Tipo de accesorio
- d) Características (roscado, soldable etc.)
- e) Rating (Relación nominal presión- temperatura)
- f) Cantidad
- g) Material

Donde generalmente se incluyen, es en los planos en los de fabricación e isométricos para mantenimiento.

También en los planos de planta - elevación y en los isométricos de diseño se incluyen las listas de materiales.

En los sistemas gráficos (CAD) se utilizan bases de datos como documento separado del archivo gráfico o también incorporado al plano como texto.

Los Sistemas Gráficos relacionan cada elemento o entidad componente de las líneas en el plano con cada línea de la base (record) y el manipuleo se puede realizar dentro del archivo del software utilizado, del mismo modo que se procede como con cualquier otra base de datos.

Diseño de Planos de Cañerías

Consideraciones básicas

1) Condiciones de servicio: Raramente las condiciones de servicio imponen en forma obligatoria el trazado de una cañería. Aún así es importante conocerlas, para lograr un mínimo de pérdida de carga, pendientes apropiadas, etc.

2) Flexibilidad: Las líneas deben tener un trazado tal que les dé flexibilidad suficiente para absorber los esfuerzos provenientes de las dilataciones (será visto en Tema 6).

3) Transmisión de esfuerzos y vibraciones: no debe haber transmisión de esfuerzos no admisibles, de las cañerías a los equipos y viceversa.

4) Accesibilidad: las válvulas o equipos que exijan operación o mantenimiento deben ser accesibles con facilidad. Las líneas deben ser accesibles por lo menos para inspección.

5) Mantenimiento: deben ser provistas de facilidades para mantenimiento, incluso pintura, de toda la cañería y accesorios. El desmontaje rara vez ocurre y no es considerado.

6) Seguridad: Deben prevenirse accidentes y minimizar sus consecuencias, si se producen.

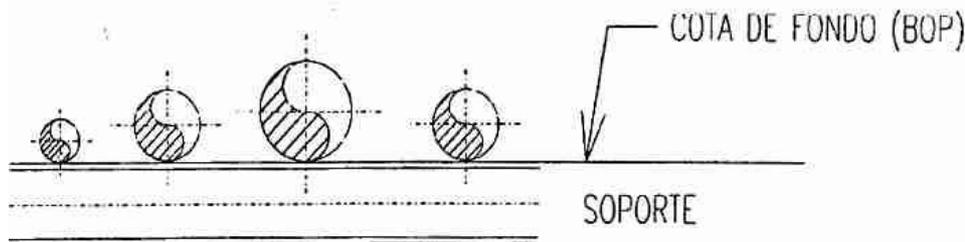
7) Economía: El mejor trazado es el más barato, siempre que se respeten las demás exigencias.

8) Apariencia: Una buena apariencia, es decir, un aspecto de orden y de buena terminación es siempre necesaria, sumada a la facilidad de operación, mantenimiento y economía.

Disposición de líneas no subterráneas

Ninguna regla se puede establecer en el ruteo de las cañerías y muchas veces el proyectista lo define de acuerdo a las condiciones particulares de cada proyecto. No obstante podemos definir algunas:

1) Grupos paralelos de la misma elevación: Todos los caños deben tenderse sobre una misma cota inferior para simplificar sus soportes.



Los caños de gran diámetro (mas de 20") hacen excepción a esta regla, no sólo por razones de servicio, sino también porque en trayectos cortos y directos se logra economía de material. El trazado de cañería debe comenzar siempre por las líneas de mayor diámetro, por las troncales y también por las zonas mas congestionadas.

2) Direcciones ortogonales del proyecto: Siempre que sea posible las líneas deben quedar al mismo nivel y paralelas a una de las direcciones ortogonales del proyecto. Siempre que sea posible todos los caños que pasan de un nivel a otro deben ser perfectamente verticales. Consecuentemente no se proyectarán cañerías en curvas y los cambios de dirección se harán a 90°.

3) Elevaciones a cotas diferentes para direcciones diferentes: Para facilitar las derivaciones y cruces de líneas, los caños horizontales paralelos a una de las direcciones ortogonales deben trazarse en elevación diferente de los caños paralelos de la otra dirección. Esta regla no necesita ser observada en caso de líneas donde no haya derivaciones ni cruces, ni cuando por motivos de flexibilidad sea necesario cambiar de dirección.

4) Flexibilidad: Para absorber mejor los esfuerzos provocados por la dilatación se hacen modificaciones en el trazado, tratando de convertir tensiones de flexión en flexo-torsión. Esto se logra por la premisa: "**a cada cambio de dirección, cambio de nivel**".

Como regla general, ninguna línea debe comenzar y terminar en una línea recta, aunque trabaje fría o en tramos cortos. Hacen excepción aquellas que incluyen juntas de expansión que absorben los movimientos de dilatación.

Las **liras** de expansión suelen hacerse en el plano horizontal, en nivel superior a los caños paralelos. Por motivo de economía de soportes, se colocan en la misma zona para caños que las requieran.

5) Distancia entre ejes de caños paralelos: Se toman a efectos de permitir distancias mínimas requeridas para pintura y el espacio necesario para ajustar pernos en bridas. En cañerías calientes deben preverse los movimientos laterales y el espesor de aislación. Como base de distancias mínimas se acostumbra a tomar 25 mm. de huelgo, a los que se suman la distancia de aislación diámetro de bridas, etc.

6.- Cañerías de gran diámetro: En diámetros muy grandes (30" o más) para conducción de fluidos líquidos, la inercia de la masa en movimiento puede alcanzar valores considerables con las variaciones de velocidad, dirección y generación de turbulencias adicionales.

Es por eso que las derivaciones se hacen a 45° en "Y" en el sentido del flujo. Se trata de mantener la velocidad lo más constante posible.

También se hacen reducciones de sección donde varía el caudal.

Los soportes, tomados aquí como tema aparte (Ver Tema 7) son también de vital importancia en el diseño de cañerías.

Agrupamientos

Los conjuntos de cañerías se agrupan en estructuras típicas, metálicas o de hormigón. Podemos mencionar entre las más utilizadas a los parrales (PIPE RACK) durmientes (PIPE PIERS) trincheras (TRENCH).

En áreas de proceso, donde se produce congestión de líneas por necesidades de operación se utilizan los racks que se proyectan paralelos a los caminos de acceso a las diferentes áreas de trabajo.

Ello implica la existencia de puentes sobre cruces de caminos y otros racks de acceso a los equipos.

Pueden ser de uno, dos o más niveles o "pisos". En los cruces o ramificaciones se procura no hacer coincidir los niveles de un rack con el otro, para que los caños que se derivan puedan cambiar su nivel con el cambio de dirección.

Las vigas que atraviesan el eje del rack, se colocan a distancias variables. Dependen del diámetro de los caños que se apoyan. Se toma generalmente el vano que produce una flecha admisible del diámetro medio de los caños. Aunque los diámetros mayores del promedio estarán con vanos sobredimensionados, los mismos son aprovechados para sostener a los de diámetro menor con vigas intermedias. Se logra así economía en el diseño.

Se acostumbra a dejar un 25% extra de longitud de las vigas (ancho del rack) para futuras ampliaciones.

Para montar estos rack, se prefabrican los arcos. con placas base con agujeros para pernos de anclaje. Una vez fraguadas las bases de hormigón, se montan los arcos y el resto de la estructura, con vigas también prefabricadas.

Los Pipepiers (durmientes) se utilizan ampliamente en áreas de almacenamiento de productos, descongestionadas, para conducciones a distancia, de diversos fluidos.

Normalmente se usan vigas de hormigón con placas de metal en su coronamiento, o de perfiles.

La altura mínima que debe existir desde el nivel de terreno hasta el BOP no debe ser inferior a 400 mm. o la que se requiera para hacer el mantenimiento y limpieza debajo del haz de cañerías y la previsión para drenajes.

Para el cruce de caminos, se usan alcantarillas donde el camino es terraplenado, dejando acceso para tareas de mantenimiento y limpieza.

Cotas de cañerías y equipos

Para fijar las cotas de las elevaciones de cañerías y equipo, de mucha importancia en el diseño de líneas de cañerías, es preciso estudiar cuáles deben quedar encima o debajo del otro. Si por ejemplo en un recipiente el fluido cae por gravedad o si las bombas deben tener succión ahogada, o si la cañería debe tener una pendiente determinada, etc.

Es requisito básico que todos los equipos, donde ello sea posible, sean instalados sobre fundaciones a nivel mínimo de 300 mm. sobre el terreno. A veces, por necesidad de proceso ellos son instalados a 1,50 m o a mayores alturas, pero esto encarece las instalaciones. Se realiza en los casos :

Cañerías Industriales (Piping)

- Para aumentar la altura neta positiva de aspiración (NPSH) en estaciones de bombeo, para líquidos calientes o volátiles.
- Por necesidad de escurrir líquidos por gravedad
- Funcionamiento por termo sifón

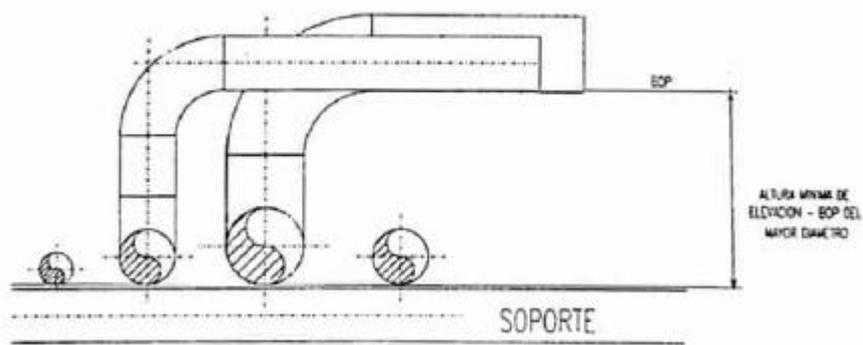
Para fijar las cotas de elevación, se comienza siempre de abajo para arriba. Las elevaciones más bajas son establecidas en función de la posición de las bocas (nozzles) de los equipos colocados sobre bases con altura mínima.

Nunca debe tenerse ningún elemento de las cañerías a menos de 150 mm. del suelo, inclusive los drenajes en sus puntos más bajos. En caso necesario, se aumentará la altura de las bases de los equipos si así se requiere.

Fijadas las elevaciones más bajas, se calculan a partir de ellas todas las otras elevaciones, en función de las posiciones relativas de los equipos, tamaño de las curvas, té, válvulas y otros accesorios de cañería, procurando que todas las elevaciones resulten las menores posibles.

En áreas de proceso, la necesidad de colocar las cañerías sobre soportes elevados, con pasaje de tránsito debajo, obliga frecuentemente a la instalación de muchos recipientes en posiciones elevadas, cuando estos son reservorios de succión de bombas.

La distancia vertical entre cañerías en direcciones ortogonales, para permitir el cruce de unas sobre las otras debe ser la mínima estrictamente necesaria para posibilitar las derivaciones. Esa distancia será la mínima que resulta de la colocación de una te y un codo del caño de mayor diámetro, como se muestra a continuación.



Esta distancia, como es evidente se incrementará cuando la cañería está aislada, o cuando se prevé la instalación de cañerías de mayor diámetro a futuro.

Facilidades para montaje, operación y mantenimiento.

a) Cañerías para conexiones a los equipos.

Los caños de conexión a cualquier equipo que puedan necesitar ser desmontados o cambiados periódicamente (bombas, compresores, turbinas, intercambiadores de calor, filtros, etc.) deben ser dispuestos de forma de dejar libres los espacios necesarios para desmontaje o remoción, y siempre también el espacio suficiente por encima del equipo para permitir la maniobra de grúas u otro elemento utilizado para elevación de cargas.

Los caños de conexión deberán tener una pieza bridada, adyacente al propio equipo, que puede ser una válvula, un accesorio con brida, etc., conectado al nozzle que permita retirar el equipo para reparaciones.

Donde sea previsto el pasaje de operadores para atender bombas, compresores etc., las cañerías deberán diseñarse de modo de no interferir en la tarea de operación. Como regla general, siempre debe

ser previsto un medio fácil de desmontaje y remoción del equipo, la propia línea o las auxiliares conectadas a la misma.

b) Conexiones con los equipos en áreas de proceso.

En áreas de proceso, salvo raras excepciones, todas las máquinas (bombas, compresores, turbinas, etc.) son instaladas próximas al nivel del suelo. Las conexiones de cañerías elevadas para los referidos equipos se hacen descender verticalmente hasta los nozzles, dejando libre el espacio alrededor del equipo.

Las conexiones a tanques, intercambiadores, etc., pueden realizarse al mismo nivel de las cañerías elevadas o por medio de caños verticales, dependiendo del nivel en que están ubicados los nozzles.

Los caños verticales a lo largo de torres o recipientes verticales deben trazarse en lo posible fuera de las plataformas de acceso, para evitar perforarlas, quitándoles área.

Los caños horizontales deben instalarse por debajo de las plataformas y las entradas de hombre deben quedar libres en sus accesos.

c) Operación de válvulas equipos e instrumentos.

Todas las válvulas, instrumentos y equipos que tengan operación y/o mantenimiento deben tener acceso fácil desde el suelo, plataforma, de alguna estructura o escalera.

Las válvulas de operación local que están por sobre los 2.10 m de altura del suelo o piso de operación deberán tener volante con cadena o palanca de extensión. La cadena debe quedar a 1 m del piso. Esta es una solución extrema que debe tomarse cuando no existe otra mejor. No deben usarse para válvulas de operación muy frecuente ni en diámetros de línea menores de 2".

No es necesario prever accesos para válvulas raramente operadas como drenajes o venteos en cañerías elevadas.

d) Facilidades para desmontajes

Estos no son muy frecuentes en las cañerías de proceso. No obstante, es necesario que se deje suficiente espacio para la remoción del equipo y su posible desconexión a la cañería. Las bridas no deben quedar soportando la cañería de modo que los soportes puedan portar su peso en caso de desmontar bridas para un cambio de junta.

e) Soldaduras y roscas

Se debe prever espacios entre cañerías para efectuar soldaduras de terreno en áreas congestionadas. Además es necesario tener en cuenta que la distancia mínima entre dos soldaduras no debe ser menor de 100 mm., para evitar concentración de tensiones en caños de 3" o mayores.

En diámetros menores es imposible respetar esa dimensión pero en cualquier caso no deben estar a menos de 30 mm. de distancia.

En las cañerías roscadas es necesario prever distancias requeridas para una tarraja, de modo de poder efectuar la rosca sobre una cañería ya instalada si se presenta el caso.

Drenajes, Venteos y Detalles

1) Para la derivación de cañería de gases y venteos, todas las conexiones serán efectuadas en la parte superior de los caños, para evitar la salida de los líquidos o condensados que se pudieran encontrar dentro de la línea. Para líquidos no hay recomendación. En caso de drenajes, estos se harán en la parte inferior del caño.

2) Las reducciones en cañerías horizontales son generalmente excéntricas, manteniendo la línea recta del fondo del caño (BOP). La excepción importante a esta regla son las reducciones que se instalan en la succión de las bombas que deben ser excéntricas pero niveladas por encima para evitar la formación de bolsones de aire o vapor. Se ubican en lugar inmediato a la brida de succión. En las cañerías verticales son usadas casi siempre las concéntricas.

3) Posición de las válvulas. No es conveniente colocar las válvulas con el vástago hacia abajo, por la posibilidad de pérdida a través de los sellos y acumulación de residuos en la cámara de la válvula. En líneas de succión de bombas no debe haber válvulas con el vástago para arriba por el peligro de formación de vapores en la cámara; es mejor instalar el vástago en posición horizontal.

4) Drenajes y Venteos: Todos los puntos bajos de cualquier cañería deben tener siempre un drenaje que en las cañerías de acero se hacen con una cupla, niple y válvula. Suele colocarse un tapón a la válvula para evitar entrada de residuos que dificulten la operación de la misma.

Se usa generalmente un diámetro de 3/4" para cualquier fluido. Para líquidos viscosos que dejan residuos se usa 1 1/2". En las partes altas se emplean los mismos diámetros, para evacuar aire o gases que podrían provocar inconvenientes en la operación.

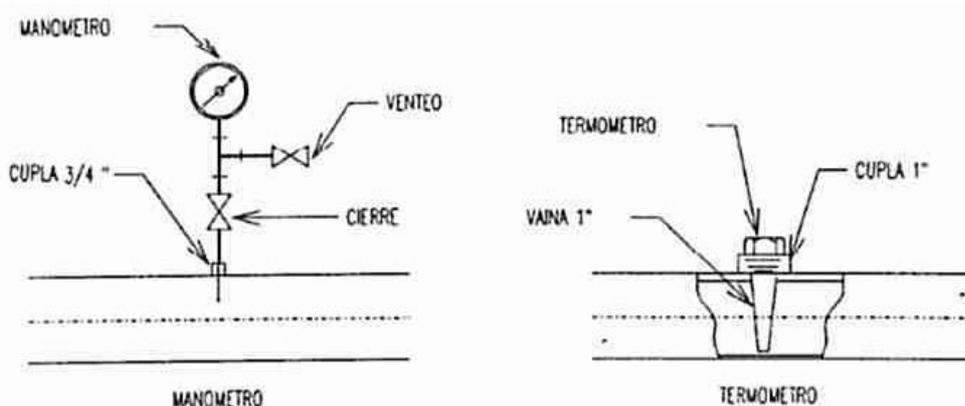
5) Válvulas de alivio de presión: En trechos de cañerías que quedarán con el líquido bloqueado entre dos válvulas de bloqueo se pueden generar altísimas presiones por la dilatación del líquido al estar expuestas al sol. Se instalan en estos trechos válvulas de alivio de presión calibradas para que abran a una presión que será la de operación de la línea o un pequeño porcentaje mayor que ésta.

6) Válvulas de seguridad y alivio: La descarga de válvulas de seguridad y alivio es frecuentemente un chorro fuerte de gases calientes, inflamables, tóxicos o la combinación de éstas características. Para evitar accidentes las válvulas de seguridad que descargan a la atmósfera se instalan a 3 m por encima de cualquier piso situado en un radio de 6 m.

Para las válvulas de seguridad suele hacerse una conexión en la salida a una línea que descarga en otra de menor presión que recircula el fluido. En las válvulas de alivio, el caudal que expelen es menor que en las de seguridad y el fluido expulsado se dirige hacia un drenaje.

7) Pasaje de Caños a través de paredes: Por regla general no se debe vincular los caños con las paredes o pisos que atraviesan. Se los hace pasar por agujeros circulares, a veces protegidos por un caño de mayor dimensión (sleeve) dejando suficiente espacio para los movimientos por temperatura de la línea, la aislación si la tuviera, etc.

8) Manómetros y termómetros: Los manómetros son instalados en una pequeña derivación saliendo de una te o una cupla soldada a la cañería principal. Deben tener una válvula de bloqueo y un venteo o purga de aire



Importancia del conocimiento del proceso

Algunos autores consideran superfluo el conocimiento del proceso para el diseño de cañerías. Es indudable que el proyectista no puede determinar el uso de caños, accesorios, juntas, etc. sin saber que parámetros regulan la producción de la planta que está proyectando. Una variación de temperatura puede dar como resultado una disposición equivocada de una línea; una presión errónea puede inducir a graves consecuencias en términos de seguridad en la operación. Falta de previsión en la conducción de fluidos corrosivos puede acortar la vida útil de las cañerías y la última consecuencia es la realización de un proyecto antieconómico.

Es evidente también que el conocimiento del proceso no necesita ser tan profundo como el que tiene el ingeniero de proceso pero debe abarcar como mínimo :

- 1) Presiones en todas las líneas
- 2) Temperaturas en todos los puntos de las conducciones
- 3) Corrosividad de los fluidos conducidos. Abrasividad, etc.
- 4) Puntos de medición y control. Qué se mide y cómo
- 5) Características físicas de los fluidos a conducir (viscosidad, densidad, arrastre de partículas, etc.).

Estos parámetros y características del proceso ayudan a definir correctamente el diseño y ruteo de las líneas de cañerías.

Planos de Cañerías

En los proyectos de cañerías industriales se hacen generalmente

- 1) Diagramas de flujo
- 2) Planos de Planta y Elevación
- 3) Isométricos
- 4) Planos de detalle, fabricación y de soportes

Antes de detallar cada uno de ellos veremos como se identifican las líneas. Cada empresa tiene un sistema de codificación pero casi todas adoptan un procedimiento que resumimos:

A - B - C - D

donde **A** = Diámetro nominal de la línea
B = Clase de fluido
C = Número de orden de la línea
D = Especificación de Materiales

Así por ejemplo una línea de 8", para conducir vapor, la tercera en el listado de su clase, de especificación A1 (vapor de baja presión) tendría : 8" - ST - 003 - A1

Esta modalidad no es mandatoria y el cliente puede proponer al ingeniero otra forma de identificar las líneas, tal vez con más datos (por ejemplo si es subterránea o no, si tiene aislación o no, etc.) Fundamentalmente debe servir esta codificación para identificar rápidamente cada línea, prever un mantenimiento correcto, sin confusiones, y facilitar el montaje de la Planta y ampliaciones futuras.

Diagramas de flujo

a) Diagramas de Proceso.

Son los diagramas preparados por la Ingeniería de Proceso que contienen, como mínimo :

- a) Cañerías Principales con la indicación del fluido que conducen y el sentido de flujo
- b) Las principales válvulas, dampers, etc.
- c) Todos los recipientes (tanques, torres, intercambiadores) con sus n° de ítem y características básicas ; dimensiones, presión, temperatura, etc.
- d) Todos los equipos (bombas, compresores, etc.) con indicación de sus características, potencias, caudal etc.
- e) Un cuadro de caudales, temperaturas y presiones de cada línea de conducción de fluidos.

b) Diagrama de Piping-Instrumentos (P&ID).

Son los diagramas preparados por los grupos Mecánico-Cañerías-Instrumentación y contienen :

- a) Todos los recipientes, con dimensiones, identificación y todas sus conexiones a las cañerías
- b) Todos los equipos secundarios, trampas, filtros etc.
- c) Todas las válvulas, drenajes, venteos, aún las estaciones de utilidades (vapor, agua, aire), válvulas de alivio, retención, etc.
- d) Todos los instrumentos de medición y control con sus líneas de transmisión y sus símbolos definiendo si es de control remoto o local

Cuando la red de conducción es muy compleja se dividen los P&ID en varias hojas donde cada una contiene un área o servicio Varias hojas (planos) pueden abarcar sólo un área y en es caso se adoptan convenciones de conexión entre los planos para definir la continuación de una conducción de un plano a otro.

Planos de Planta y Elevación

Son realizados en escala. Las más usuales son :

Métrico

1:50 y 1:25	Áreas de Proceso (onsite)
1:100 y 1:250	Fuera de áreas de Proceso (offsite)
1:10 y 1:25	Detalles
1:250 y 1:1000	Disposición general

Sistema Ingles

3/8" = 1' ; 1/4" = 1'	Áreas de Proceso (onsite)
1" = 20'; 1" = 50'	Fuera de Áreas de Proceso (offsite)
1" = 50'; 1" = 200'	Disposición General

Antiguamente y hasta aparecer los sistemas gráficos computarizados, los caños de 12" y mayores se representaban en estos planos con doble línea y su eje, y las de 10" y menores con un sólo trazo. Actualmente algunas empresas de ingeniería que cuentan con sistemas CAD contratan sus planos de cañerías representando con un línea sólo las de 1 1/2" y menores ya que el tiempo de elaboración no difiere entre un tipo de representación y el otro, con lo que los costos no varían, dependiendo sólo de la resolución con que se dibujan los planos.

La ventaja de representar las cañerías con doble línea consiste en facilitar la visión del espacio que ocupan, detectar posibles interferencias y errores en espaciamiento entre ellos.

En áreas de gran complejidad, son usados en CAD, planos en 3 dimensiones que suplantán a las maquetas, que ya están obsoletas por su elevado costo, y que permiten proyecciones axonométricas desde distintos ángulos.

Además de todos los caños con sus accesorios los planos de planta y elevación, realizados en escala, deberán incluir lo siguiente :

- Líneas principales de referencia, con sus coordenadas, tales como : límites de "batería" o área, límite de los planos, de caminos y calles, diques, líneas de drenajes, recipientes, equipos, contorno de fundaciones, etc.
- Todos los soportes de cañerías , con numeración, indicación convencional del tipo, posición y elevación acotadas, inclusive las columnas de apoyo de caños elevados, indicados por su numeración
- Todas las plataformas de acceso con posiciones, elevación y dimensiones acotadas
- Todos los instrumentos, con identificación, indicación convencional y posición aproximada. Los conjuntos constituidos por las válvulas de control con sus by-pass, válvulas de bloqueo y regulación, son representados por todos sus accesorios indicando la identificación de los instrumentos con la sigla ISO correspondiente
- Indicación del NORTE de Planta y su ángulo con el geográfico normalmente dirigido hacia arriba o la derecha del plano
- Lista de soportes con los planos de referencia donde se puedan encontrar los detalles constructivos de los mismos
- Lista de planos de referencia de áreas contiguas y plano llave.

Rutina para dibujar planos de planta - elevación

- 1) Subdividir la Planta de Disposición General en tantas hojas como sea necesario para que incluya en las escalas definidas todas las áreas de trabajo
- 2) Dibujar los contornos de los equipos principales, recipientes, tanques, fundaciones, columnas, parrales, soportes etc.
- 3) Fijar cotas y elevaciones de las cañerías
- 4) Elegir las cotas o elevaciones en que deben ser dibujadas cada planta. Cuando hay varios niveles superpuestos se deben dibujar dos o más plantas y los cortes requeridos para mayor claridad del plano
- 5) Dibujar primero los caños de mayor diámetro y/o que tengan requerimientos especiales.
- 6) Fijar las distancias entre ejes de las cañerías principales
- 7) Dibujar las cañerías secundarias
- 8) Terminado esto, verificar si concuerda con el diagrama P&ID
- 9) Verificar si todos los trazados tienen suficiente flexibilidad. Donde no se tenga seguridad, enviar a cálculo de flexibilidad (ver tema 5) las líneas en cuestión
- 10) Verificar para cada línea si los vanos o luces entre vigas o soportes son los apropiados. Si fuera necesario colocar soportes adicionales o modificar el trazado para evitarlos.
- 11) Verificar interferencias entre caños y con los equipos
- 12) Colocar dispositivos de restricción de movimientos (ver tema 5) como anclajes, patines, guías, etc.)
- 13) Completar el plano con los siguientes datos :
 - ◆ Identificación de las líneas
 - ◆ Coordenadas de los límites y de las líneas principales
 - ◆ Cotitas y elevaciones
 - ◆ Identificación de los recipientes, equipos e instrumentos
 - ◆ Identificación y simbología de los soportes
 - ◆ Numeración de líneas de eje de columnas
 - ◆ Lista de soportes
 - ◆ Lista de Planos de referencia

Planos isométricos

Son planos realizados en perspectiva axonométrica - isométrica con proyecciones a 30° de cada una de las direcciones ortogonales (horizontales) y con las cañerías verticales sin cambio. Se hacen sin escala y sus aplicaciones son variadas, según sea el caso :

Cañerías Industriales (Piping)

- 1.- Conjunto de cañerías para ingeniería básica, abarcando áreas completas, facilitan la estimación de costo de un proyecto
- 2.- Cañería individual, completa, se utiliza para mantenimiento y montaje
- 3.- Sector de una cañería, utilizada para fabricación o para elaborar a partir del isométrico los planos de fabricación (pipe spools) y en algunos casos para montaje.

Estos casos que anteceden no son los únicos que se pueden mencionar para la aplicación de isométricos.

Aparte de no hacerse en escala, se diferencian de los planos de planta - elevación en que todas las cañerías son unifilares. Los codos son representados por curvas, los recipientes y bombas solo por sus nozzles o bridas y las leyendas, cotas, detalle de soportes etc., siguen las direcciones ortogonales.

Se incluyen, cuando es necesario todas las uniones de cañerías rectas, soldaduras, roscas, etc., en los caso 2 y 3. También estos casos incluyen una lista completa de materiales, salvo que se realicen en un sistema gráfico (CAD) donde se obtienen por una base de datos. Aún así hay métodos que permiten transformar la base (archivo.dbf) en texto (archivo.txt) que se incluye en el dibujo. Se indica también los ejes principales de columnas, referencia a los ejes del parral sí es aplicable, la orientación de planta (NORTE) etc.

TEMA 4

Fenómenos Ocasionales

Aislación de cañerías

CONTENIDO

<i>Fenómenos Ocasionales</i>	2
En operación	2
Prueba	2
<i>Golpe de Ariete</i>	3
1.- Introducción	3
2.- Cálculo	3
3 Longitud Crítica y sobre presión	5
<i>Aislación de Cañerías</i>	6
Cálculo para determinar la temperatura global sobre la superficie del material aislante	7
Cálculo para los casos de superficies no expuestas al aire	8
Importancia de la aislación complementaria de las bridas y las válvulas	8
Pérdida residual de calor sobre superficies planas	9
Pérdida residual de calor sobre cañerías	10
Cálculo práctico simplificado de las pérdidas de calor para las cañerías aisladas	11
Curvas de λ para algunos materiales aislantes:	11
Calentamiento de cañerías (tracing)	17
Sistemas usados para calentamiento.	17

Fenómenos Ocasionales

Las líneas de cañerías no son componentes de laboratorio, y por lo tanto están expuestas a distintos tipos de acciones internas, del propio proceso y externas.

Entre las internas mencionaremos su propio peso, el movimiento del fluido y sus diferencias de nivel.

La acción del propio proceso somete a las líneas de cañerías a movimientos cíclicos, vibraciones, dilataciones y variaciones de presión (de las cuales puede producirse el llamado "golpe de ariete").

Las acciones externas, casi siempre eventuales, como la acción de sismos, viento y variaciones de temperatura que producen congelamiento y severos incrementos de presión.

Las tensiones longitudinales producidas por el peso del caño más sus accesorios se suma siempre a la proveniente de la presión (1/2 de la tensión circunferencial) en operación.

Pero, junto con ellas se incrementan las tensiones longitudinales por cargas laterales de viento.

Las vibraciones y los sismos producen tensiones adicionales. Las cargas de viento y sismo no se tomarán en cuenta como simultáneas según ANSI (par.302.3.6) que establece :

En operación

La suma de las tensiones longitudinales debidas a presión, peso y otras cargas actuantes SL y la de las tensiones producidas por cargas ocasionales, tales como viento o sismo, no podrán ser mayores que 1,33 veces la tensión básica admisible dada en las Tablas del Apéndice A del Código.

Para fundición ANSI establece calidades que afectan esa tensión admisible por un coeficiente E_c (ver tabla 302.3.3C) según sea la calidad de la fundición.

Además establece que las acciones del viento y sismo no se tomarán como simultáneas.

Ambas acciones no se desarrollan aquí, pero consisten en :

VIENTO: Se toman las líneas como elementos estructurales y se consideran los coeficientes de forma (cilíndrica) de las líneas para que, en base a la velocidad se calcule la presión del viento afectada por ese coeficiente, y se considere la carga como actuando una fuerza uniformemente repartida sobre una viga.

SISMO: Se aplica el mismo criterio que en estructuras. Se calculan para las líneas de gran diámetro, la frecuencia fundamental o primera armónica y luego las tensiones adicionales que sumadas a las de presión y peso propio no sobrepasarán 1,33 s.

Prueba

Ninguna de las cargas ocasionales como viento y sismo se tomarán en cuenta como simultáneas con la prueba hidráulica, según las normas ANSI.

Otras causas debido a la operación y fenómenos externos

- ◆ Una parada brusca en la circulación del fluido puede causar vacío en el tramo donde se produce originando tensión similar a la de presión externa.
- ◆ Un enfriamiento brusco puede producir el mismo efecto
- ◆ La expansión de un líquido contenido en la línea, producido por un aumento paulatino de la temperatura (caso muy común en líneas con bloqueos) por efecto del sol, puede producir altas presiones. Por ejemplo, un líquido bloqueado a 9 Kg./cm² con un aumento de 30_C por efecto de los rayos solares puede levantar una presión de hasta 270 Kg/cm².

- ◆ Cuando se produce una vaporización anormal en una cañería sea por calentamiento excesivo por causa de falta de refrigeración o por líquidos más volátiles que lo previsto, también se producen alzas de presión.
- ◆ El congelamiento produce elevadas tensiones en las cañerías en particular las que conducen agua.

Golpe de Ariete.

1.- Introducción.

Se llama golpe de ariete a una modificación de la presión en una cañería debido a la variación del estado dinámico del líquido.

En las paradas de las bombas, en el cierre de las válvulas, etc., se produce esta variación de la velocidad de la circulación del líquido conducido en la cañería.

La presión máxima que soporta la cañería, (positiva o negativa), será afectada por la suma o resta del incremento ΔH de presión debido al golpe de ariete a su **presión estática**.

La fuerza de inercia del líquido en estado dinámico en la cañería, origina tras el cierre de válvulas, unas depresiones y presiones debidas al movimiento ondulatorio de la columna líquida, que va decreciendo hasta que se estabiliza la masa líquida. Las depresiones y sobre presiones empiezan en un máximo al cierre de válvulas o parada del motor, disminuyendo después de cierta cantidad de ciclos, en que desaparecerán, quedando nuevamente la cañería en régimen estático.

En el valor del golpe de ariete influirán varios factores, tales como la **velocidad del tiempo de parada**, que a su vez puede ser el cierre de la válvula de compuerta o parada del motor. Otros factores serán: la velocidad del líquido dentro de la cañería, su diámetro, etc.

Para evitar esta variación en la presión, se pueden instalar varios elementos como: Válvulas de retención, cámaras de compensación de aire, chimeneas de equilibrio, válvulas anti -ariete, etc.

El primer efecto de la parada o modificación de la velocidad del líquido, originará una depresión (o caída de presión en la conducción, salvándose con la instalación de una ventosa en el tramo más cercano a la válvula de compuerta accionada, comunicándose de esta forma el líquido de la conducción con el exterior, no llegando nunca a ser la presión de la cañería mayor que la atmosférica.

Esta depresión se debe calcular pues puede ocasionar un golpe de ariete negativo (Nunca se usarán cañerías de PVC o PE de serie 4, pues la depresión interior cuando sea mayor de 0,45 atm deformará esta cañería y ocasionará roturas).

En cualquier cañería, tanto en elevación como en descenso, se deberá calcular el golpe de ariete y neutralizarlo, evitándose roturas en cañerías, daños en grupos de bombeo e incluso posibles accidentes en el personal de servicio.

Normalmente dentro de las instalaciones de riego por aspersión o riegos localizados, no se producen estos "golpes" al estar en comunicación el agua con el aire exterior a través de los aspersores o goteros (aunque no se anula totalmente, lo que se asegura es que el valor que puede alcanzar no superará la suma de las pérdidas de carga y la presión disponible en los aspersores)

2.- Cálculo.

Vamos detallando cada uno de los factores que integrarán su solución

2.1 Tiempo de parada.

El valor del tiempo de parada influye en el golpe de ariete de modo que a menor tiempo, mayor golpe. Se debe no sólo al cierre de las válvulas, sino también a la parada del motor que acciona a la bomba de la conducción y por consiguiente siempre tendremos la obligación de su cálculo.

Cañerías Industriales (Piping)

El valor del tiempo de parada viene expresado por una fórmula empírica, que calcula el tiempo en segundos,

$$T = C + \frac{KLV}{gH_m}$$

Siendo:

T = Tiempo de parada en segundos.

C = Coeficiente según la pendiente de la cañería.

K = Valor que depende de la longitud de la cañería.

L = Longitud real de la cañería en mts.

V = Velocidad del agua en la cañería en m/s

g = Constante de la gravedad (9,8 m/seg²)

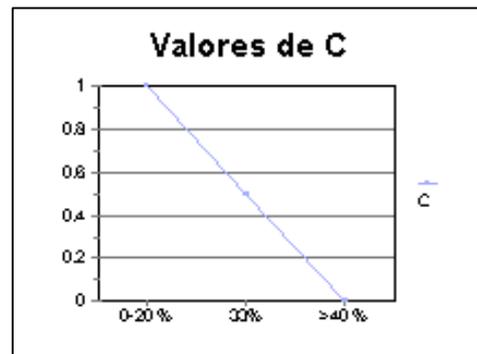
H_m = Altura manométrica en metros.

(En realidad es el tiempo que tarda en anularse la onda de presión y sobre presión)

Se considerará la longitud L desde la toma de agua hasta el depósito o hasta el primer punto de salida

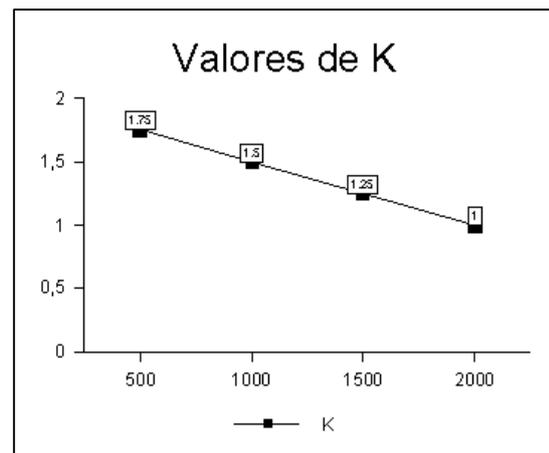
Valores de C

Pendiente	C
40%	0
33%	0,5
20% 0 <	1



Valores de K

Longitud	Valor de K
< 500m	1,75
1000m	1,50
>1500m	1,25
2000	1



2.2. Velocidad de propagación de la onda.

Se calculará por la siguiente fórmula:

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + G \frac{D}{e}}}$$

Materiales	G
Acero	0,5
Fundición	1
Hormigón armado	5
Fibro cemento	5,5
PVC	33,33
PE (baja densidad)	500
PE (alta densidad)	111,11

Siendo

a = Velocidad de propagación de la onda en m/s

G = Factor sin dimensión (depende del material de la cañería)

D = Diámetro interior en mm

e = espesor del caño en mm.

G = $10^6/E$; siendo E el coeficiente de elasticidad del material en Kg/cm². Para los materiales más usuales, G vale:

3 Longitud Crítica y sobre presión

Se llama longitud crítica al resultado de la ecuación siguiente:

$$L_c = a \cdot T / 2$$

Siendo a la **Velocidad de propagación de la onda** y T el **tiempo de parada**.

Este valor lo comparamos con la longitud real de la conducción L y según sea, igual, mayor o menor, se aplicarán las fórmulas siguientes:

$$\Delta H = \frac{aV}{g} \quad \text{Fórmula de Michaud}$$

$$\Delta H = \frac{2LV}{gT} \quad \text{Fórmula de Allievi}$$

Siendo:

a = **Velocidad de propagación de la onda** en m/s

V = Velocidad del fluido en m/s

L = Longitud real en m

g = aceleración de la gravedad

T = de parada en seg.

El valor de ΔH es el **incremento de presión debido al golpe de ariete**.

Este valor se sumará o restará a la presión estática, para calcular las presiones máximas y mínimas.

Lc = L

En este primer caso se podrá solucionar con cualquiera de las fórmulas: Allievi o Micheaud.

Lc > L

Cuando la longitud crítica es mayor que la longitud real, se denomina **conducción corta** y se resolverá con la fórmula de Micheaud.

Lc < L

Cuando la longitud crítica es menor que la longitud real, se denomina **conducción larga** y es solucionable por la fórmula de Allievi.

Conocido el incremento de presión por golpe de ariete, sumado o restado a la presión estática, se puede definir la serie (Schedule) de los diferentes tramos de cañería, o instalar válvulas que eviten sobre presiones en las cañerías existentes

Aislación de Cañerías

Coefficiente de conductibilidad térmica de la lana de vidrio, en función de la temperatura media y densidades:

La unidad de este coeficiente se expresa en : **Calorías por m-hora- °C** y puede definirse como "la conductibilidad de un cuerpo que transmite en una hora, por cada metro cuadrado de superficie, a través del espesor de un metro lineal de material y por grado centígrado de diferencia de temperatura, **UNA CALORÍA**".

La cantidad de calor que pasa a través de un material es directamente proporcional a la diferencia de temperatura *mantenida* entre sus dos caras, a la *superficie* considerada y a la *duración* de la transmisión. En cambio, es inversamente proporcional al espesor del material.

Las curvas que se anotan en la tabla D (dan por simple lectura, las pérdidas que se verifican en las cañerías desnudas, por diferentes diámetros, en función de la temperatura mantenida entre el fluido y el aire.

Si bien se pueden utilizar en la mayoría de los casos, es indispensable tener en cuenta que tales cifras han sido establecidas basándose sobre dos hipótesis :

- que la temperatura del aire sea de +20 °C
- que la cañería no sea expuesta al viento.

Si la velocidad del viento es mínima, las cifras mencionadas en la Tabla D son utilizables.

Para evitar errores de cálculo es necesario proceder a una rectificación mediante una verificación adecuada. Las pérdidas de una cañería expuesta a la acción del viento se determina por la fórmula:

$$Q^{cal} = \alpha(\pi d) m^2 (t_1 - t_a) ^\circ C \quad [1]$$

en la que :

t_1 y t_a = son las temperaturas del fluido y el aire respectivamente

d = el diámetro exterior del caño

a = coeficiente de transmisión de la superficie expuesta al aire.

El coeficiente a se descompone en dos coeficientes parciales : a_c y a_r , correspondientes a la transmisión por convección y por radiación.

En la Tabla E se anota tal valor en la primera columna C 4,0 (para la cañería desnuda) y en la segunda columna C 4,6 para la cañería recubierta de una capa protectora cualquiera - no aislante - (pintura, revoque liviano de poco espesor etc.).

Temperatura de la superficie que Emite el calor en °C	Coeficiente de transmisión de Calor a_c en Kcal/m ² /h/°C					
	0		20°		40°	
	4,0	4,6	4,0	4,6	4,0	4,6
0	3,2	3,6				
20	3,6	4,1	4,0	4,5		
40	4,0	4,5	4,4	5,0	4,9	
60	4,5	5,0	4,9	5,5	5,4	5,5
80	5,0	5,6	5,4	6,1	5,9	6,0
100	5,5	6,2	6,0	6,7	6,5	6,6
150	7,0	7,9	7,6	8,6	8,2	7,3
200	8,9	10,0	9,4	10,6	10,0	9,2
250	11,1	12,5	11,7	13,2	12,4	11,3
300	13,6	15,3	14,4	16,2	12,2	14,0
350	16,6	18,7	17,4	19,6	18,8	17,2
400	20,0	22,4	20,8	23,4	21,7	20,5
450	23,7	26,7	24,6	27,8	25,6	24,4
500	28,1	31,6	29,2	32,8	30,2	28,8

TABLA E

Cañerías Industriales (Piping)

El coeficiente de transmisión por convección de la superficie expuesta al aire, es, al contrario, influenciado por la exposición al viento.

La Tabla F indica el coeficiente por m² de superficie.

Coeficiente de transmisión de calor para una velocidad del viento en m/seg. de :

Diámetro ext. del caño en m	1	2	5	10	25
0,026	17,9	24,5	39,8	63,0	115
0,054	11,9	17,4	31,0	50,0	93
0,076	9,9	15,0	27,3	43,8	83
0,102	8,8	13,5	24,8	40,2	76
0,152	7,5	11,7	21,9	35,5	68
0,203	6,8	10,7	20,1	32,6	63
0,300	5,7	9,1	17,3	28,1	55
0,500	4,9	7,9	14,9	24,3	47,4
0,700	4,3	7,1	13,3	21,9	42,7

TABLA F

La velocidad media del viento a 5 metros por segundo corresponde a la simple exposición al aire libre. El valor de 25 m/segundo es raramente alcanzado y debe ser utilizado únicamente en los casos de exposición desfavorable (orilla del mar, etc.)

EJEMPLO 1 : Un caño de vapor de 216 mm. de diámetro exterior, se encuentra expuesto al aire libre - temperatura +20°C -temperatura del fluido 250°C. viento a 5 m/seg.

- ◆ Coeficiente de transmisión en la superficie por irradiación.....11,7(Tabla E)
- ◆ Coeficiente de transmisión en la superficie por convección.....20,1(Tabla F)
- ◆ Coeficiente real de transmisión de la superficie expuesta al aire.....31,8

$$\text{PERDIDAS : } 31,8 \times \pi \times 0,216 \times 230 = 5000 \text{ CALORÍAS POR METRO LINEAL.}$$

Realizando una aislación racional, las pérdidas de tal cañería aislada no deberían superar las 300 calorías por m² y por lo tanto el rendimiento calculado, sobre las pérdidas de la cañería desnuda mencionada en la Tabla D (2800 calorías) **sería del 89,3%** mientras que, en realidad, las mismas 300 calorías de pérdida residual relacionadas a las 5000 calorías realmente perdidas por la cañería desnuda expuesta al viento, corresponderían a una **recuperación del 94%**.

Cálculo para determinar la temperatura global sobre la superficie del material aislante

El conocimiento de esta temperatura puede presentar un interés especial para la mejor protección del personal que trabaja en los ambientes respectivos, o de los materiales elaborados o almacenados en ellos (riesgos de combustión, etc.).

Evidentemente la temperatura resultante sobre la superficie exterior del revestimiento aislante no puede ser tenida en cuenta como base del rendimiento de la capa propiamente aislante, porque la protección mecánica final (capas plásticas, forro de chapa, etc.)no tiene una función específicamente aislante, sino simplemente mecánica y puede, por efecto de la reverberación, por sus diferentes colores específicos, dar lugar a apreciaciones o resultados erróneos o equivocados, que no reflejarían el verdadero comportamiento de la aislación en sí misma.

Así pues, todos los cálculos en este sentido estarán siempre relacionados con la temperatura resultante sobre la capa del material propiamente aislante.

En los casos especiales en que la sobre elevación de temperatura (t_s) proveniente de la reverberación de la capa suplementaria protectora, pueda influir sensiblemente sobre la temperatura media ambiental, se deberá poner el mayor cuidado en realizar la protección externa del revestimiento aislante con materiales que ofrezcan el mínimo calor específico y los más bajos coeficientes λ de conductibilidad térmica.

Cálculo para los casos de superficies no expuestas al aire

En la tabla G las curvas respectivas permiten fijar con mucha aproximación la temperatura (t_s) que resultará sobre la superficie del material aislante (diferencia en más de la temperatura ambiente (t_a), en base a las cifras de las pérdidas de $K^{calorías}$, en superficies planas y cañerías por m^2/h .

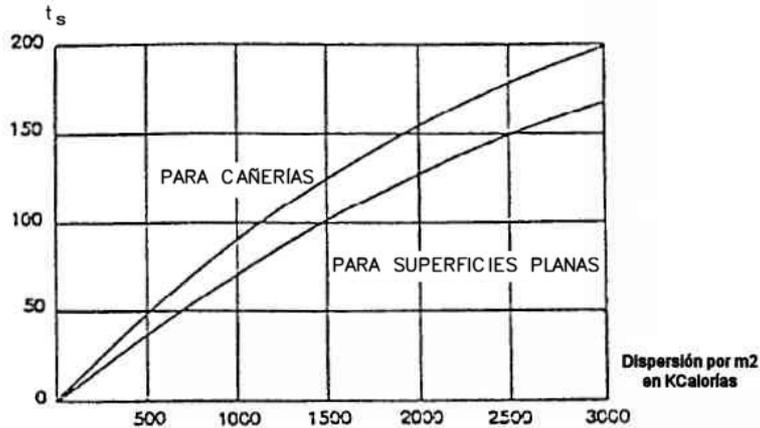


TABLA G

(Se observará que en los casos de cañería convenientemente aislada, se anota un valor aproximado de la diferencia de temperatura sobre la superficie del aislamiento y el aire, dividiendo por 10 la cifra de dispersión por m^2)

a) Cálculo para superficies planas

Una vez obtenida, mediante el cálculo la pérdida por m^2/h , con el auxilio de la Tabla G, se podrá anotar fácilmente, en la curva correspondiente a las superficies planas aisladas, la temperatura que se registrará sobre el material aislante (diferencia en más de la temperatura ambiente).

b) Cálculo para cañerías

Una vez determinada la pérdida residual por metro lineal de caño aislado (mediante la Fórmula 3), se fijará la pérdida por m^2 aprovechando los datos de la Tabla D, luego por simple lectura de la Tabla G, se podrá obtener la sobre elevación de temperatura t_s sobre el material aislante (diferencia en más de la temperatura ambiente t_a).

Importancia de la aislación complementaria de las bridas y las válvulas

La protección aislante de las bridas y de las válvulas debe ser considerada paralelamente a la de las cañerías.

Aunque el cálculo exacto de las pérdidas antes y después del aislamiento resulta más complejo para bridas y válvulas que para cañerías, es indispensable formularlo, si se desea una aislación cuidadosa. Esta necesidad está demostrada elocuentemente en la Tabla H, cuyas cifras indicativas establecen que una brida pierda, término medio, más del equivalente de un tramo de 30 a 50 cm. de cañería de diámetro proporcional; mientras que, por otra parte, la pérdida en una válvula equivale a la que experimentaría un trozo de 1,50 a 3 metros de caño correspondiente.

En líneas generales, puede admitirse que una protección aislante con manguitos o cajas metálicas de espesor aislante adecuado, de tipo fijo o desmontable, permite reducir la pérdida a 1/10; o sea que se logra una economía media del 90%, o más.

Cañerías Industriales (Piping)

PERDIDAS DE K/CALORÍAS POR HORA, PARA BRIDAS NO AISLADAS

Caño en mm	100°C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	350 °C	400 °C
47,5	105	219	320	486	650	825	1000
59	120	235	355	530	690	955	1200
76	160	305	475	705	925	1150	1450
89	180	345	530	785	1420	1360	1700
103	213	420	630	900	1200	1600	2000
121	245	480	700	1000	1340	1950	2400
140	310	570	835	1170	1580	2320	2850
159	360	660	970	1360	1800	2600	3250
191	390	755	1110	1600	2120	3250	3800
216	420	830	1260	1910	2620	3875	4500
241	450	960	1470	2200	3000	4200	5100
267	480	1050	1600	2450	3300	4550	5600
292	520	1130	1720	2650	3650	4900	6000
318	600	1240	1870	2940	4050	5300	6750
343	670	1370	1900	3110	4350	5720	7250
368	750	1430	2080	3320	4630	5980	7900
394	820	1500	2200	3580	4950	6700	8600

PERDIDAS DE K/CALORÍAS POR HORA, PARA VÁLVULAS NO AISLADAS

Caño en mm	100°C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	350 °C	400 °C
47,5	160	415	675	1230	1800	2400	3500
59	175	445	715	1550	1960	2750	4000
76	240	570	950	1710	2400	3350	4500
89	265	600	1050	1960	2820	3900	5000
103	320	800	1250	2200	3200	4350	6000
121	350	900	1400	2520	3600	4800	7500
140	490	1240	1750	3150	5100	55600	8900
159	520	1350	2025	3700	5550	7200	10100
191	575	1470	2250	4100	6000	8200	10900
216	690	1640	2700	5820	8700	11750	15600
241	610	1500	2400	5050	7200	9800	13400
267	765	1880	2920	6400	9700	13400	17500
292	825	2020	3250	6930	10600	14300	19000
318	900	2090	3500	7300	11500	15700	21500
343	975	2300	3800	7650	12600	17000	23000
368	1040	2500	4100	8100	13400	18700	25500
394	1120	2670	4300	8700	14500	20500	32000

TABLAS H

Pérdida residual de calor sobre superficies planas

$$Q[\text{cal}] = \frac{l (t_i - t_e)}{e} \quad [2]$$

cuyos valores expresan :

$Q[\text{cal}]$ = Cantidad de calor perdido por hora y por m² en Kcalorías

l = Coeficiente de conductibilidad térmica del material expresado en Kcal/m/h/°C, a la temperatura media de

$$t_m = \frac{(t_i - t_e)}{2}$$

Donde:

t_i = Temperatura interna, expresada en °C

t_e = Temperatura exterior, expresada en °C

e = Espesor del material aislante a través del cual se verifica el pasaje de calor, expresado en metros.

Pérdida residual de calor sobre cañerías

$$Q[\text{cal}] = \frac{2\pi l (t_i - t_e)}{L \frac{d_e}{d_i}} \quad [3]$$

cuyos valores expresan :

$Q[\text{cal}]$ = Cantidad de calor perdido por hora y por metro lineal en Kcalorías

d_e = Diámetro exterior del caño AISLADO, en m

d_i = Diámetro exterior del caño DESNUDO, en m

$L \frac{d_e}{d_i}$ = Log. Neperiano correspondiente al factor proporcional de los diámetros d_e y d_i .

La fórmula [3] es una simplificación de la original más rigurosa :

$$Q[\text{cal}] = \frac{\pi (t_i - t_e)}{\frac{1}{a_o d_o} + \frac{1}{2l_1} + \frac{d_i}{d_o} L \frac{1}{2l} + \frac{d_e}{d_i} L \frac{1}{a_1 d_e}} \quad [4]$$

cuyos valores expresan :

a_o = Coeficiente de intercambio entre el fluido interno y el caño

a_1 = Coeficiente global de intercambio entre la superficie del aislamiento y el aire

l_1 = Coeficiente de conductibilidad del metal de la cañería

d_i = Diámetro interno de la cañería expresado en metro

Habitualmente se desprecian los términos

$$\frac{1}{a_o d_o}, L \frac{d_i}{d_o} \text{ y } \frac{1}{2l}$$

por cuanto el coeficiente de conductibilidad de los metales es tan elevado, que la capa metálica no interviene prácticamente en la aislación global de las cañerías recubiertas.

Por el contrario no se puede olvidar el factor :

$$\frac{1}{a_1 d_e}$$

ya que el mismo tiene en cuenta el intercambio de calor entre la superficie del revestimiento aislante y el aire.

En casos determinados, (por ejemplo, cañerías expuestas a la fuerte acción del viento) se podrá aplicar la siguiente fórmula :

$$Q[\text{cal}] = \frac{p (t_i - t_e)}{\frac{1}{2l} L \frac{d_e}{d_i} + \frac{1}{a_1 d_e}} \quad [5]$$

Esta fórmula sirve también para reservar un margen de seguridad en los cálculos de pérdidas.

Aplicando la fórmula [3] se pueden obtener datos con errores de hasta 5% (para diámetros medios y espesores normales) y que, en grandes diámetros y espesores, resultan insignificantes.

En la mayoría de los casos, y puesto que el coeficiente a_1 se halla estrechamente vinculado a la temperatura resultante sobre el revestimiento, (la que se debe calcular por aproximaciones sucesivas con el auxilio de las pérdidas residuales Q_{cal}/m^2) se puede simplificar el cálculo FIJANDO POR APROXIMACIÓN en 10, el valor del coeficiente a_1 por m^2/h de superficie aislada sustraída a la acción del viento.

Cálculo práctico simplificado de las pérdidas de calor para las cañerías aisladas

Para evitar cálculos complicados, a fin de establecer las pérdidas de calor sobre cañerías aislada (s/formulas [3], [4] y [5]) se recurre en la práctica, para la mayoría de los casos normales que no exigen determinaciones más exactas y prolijas, a un método simplificado y sencillo que da suficiente aproximación.

Partimos de [3] excluyendo el factor L

Resulta :

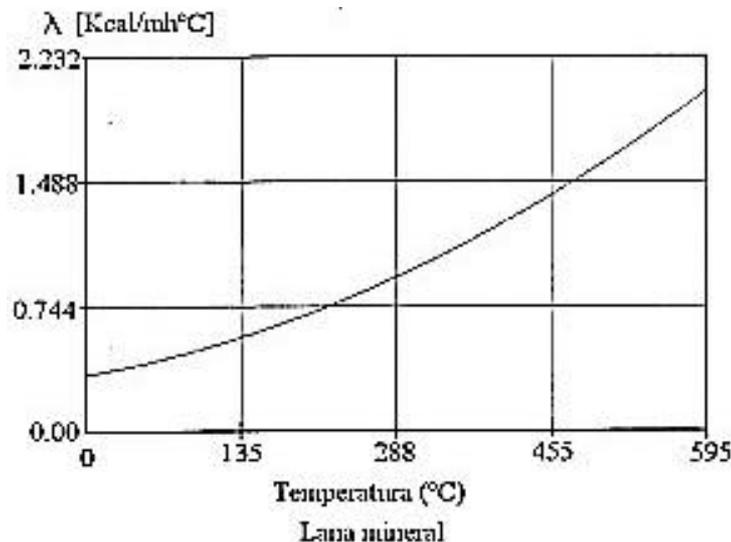
$$Q[\text{cal}] = S \frac{1}{e} (t_i - t_e)$$

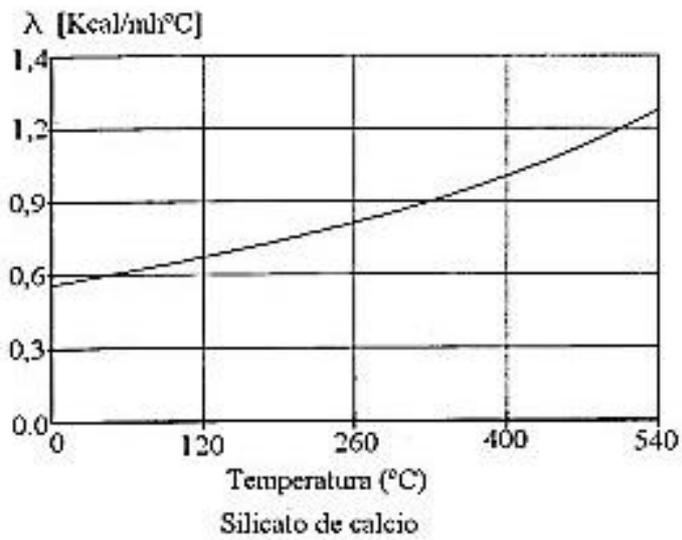
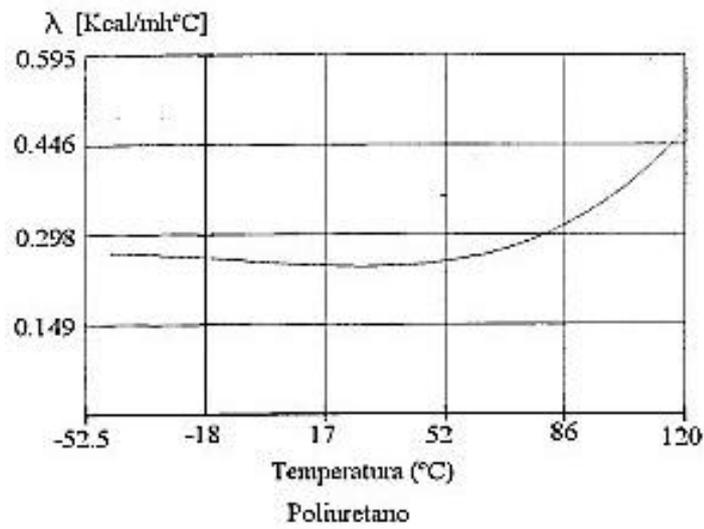
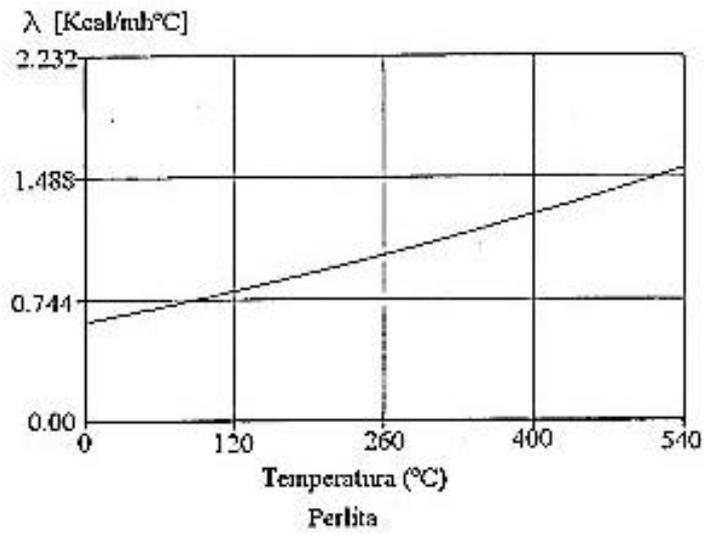
cuyos valores significan :

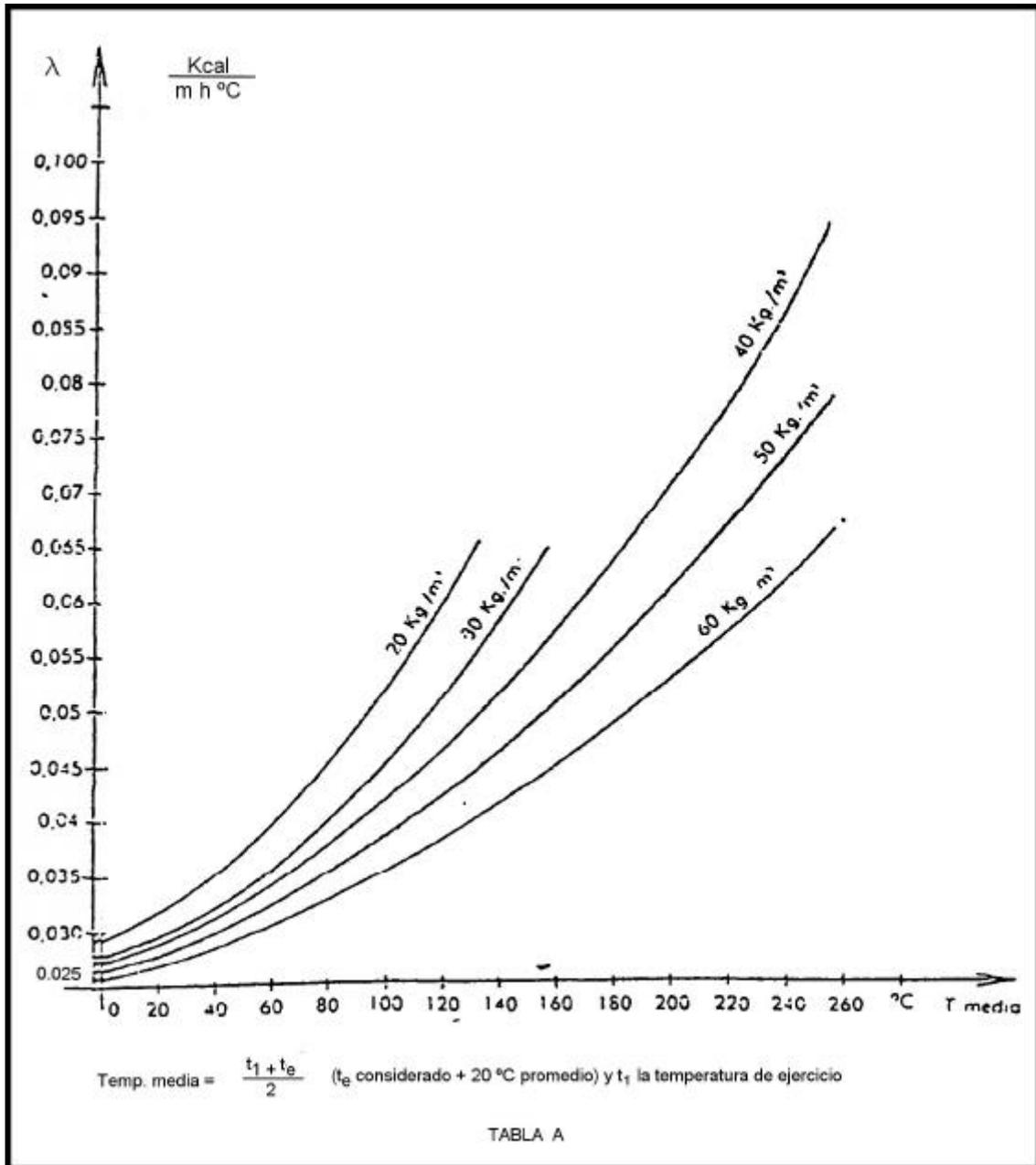
- S = Superficie expresada en metros
- $(t_i - t_e)$ = Temperaturas interior y exterior respectivamente
- e = Espesor del material aislante, en metros.

Multiplicando este primer resultado por el factor de corrección proporcional (Tabla B) se obtiene el resultado final para distintos diámetros y espesores del aislamiento.

Curvas de λ para algunos materiales aislantes:







Lana de Vidrio

**Pérdida de calor de las cañerías no aisladas,
por cada metro lineal y cada hora**

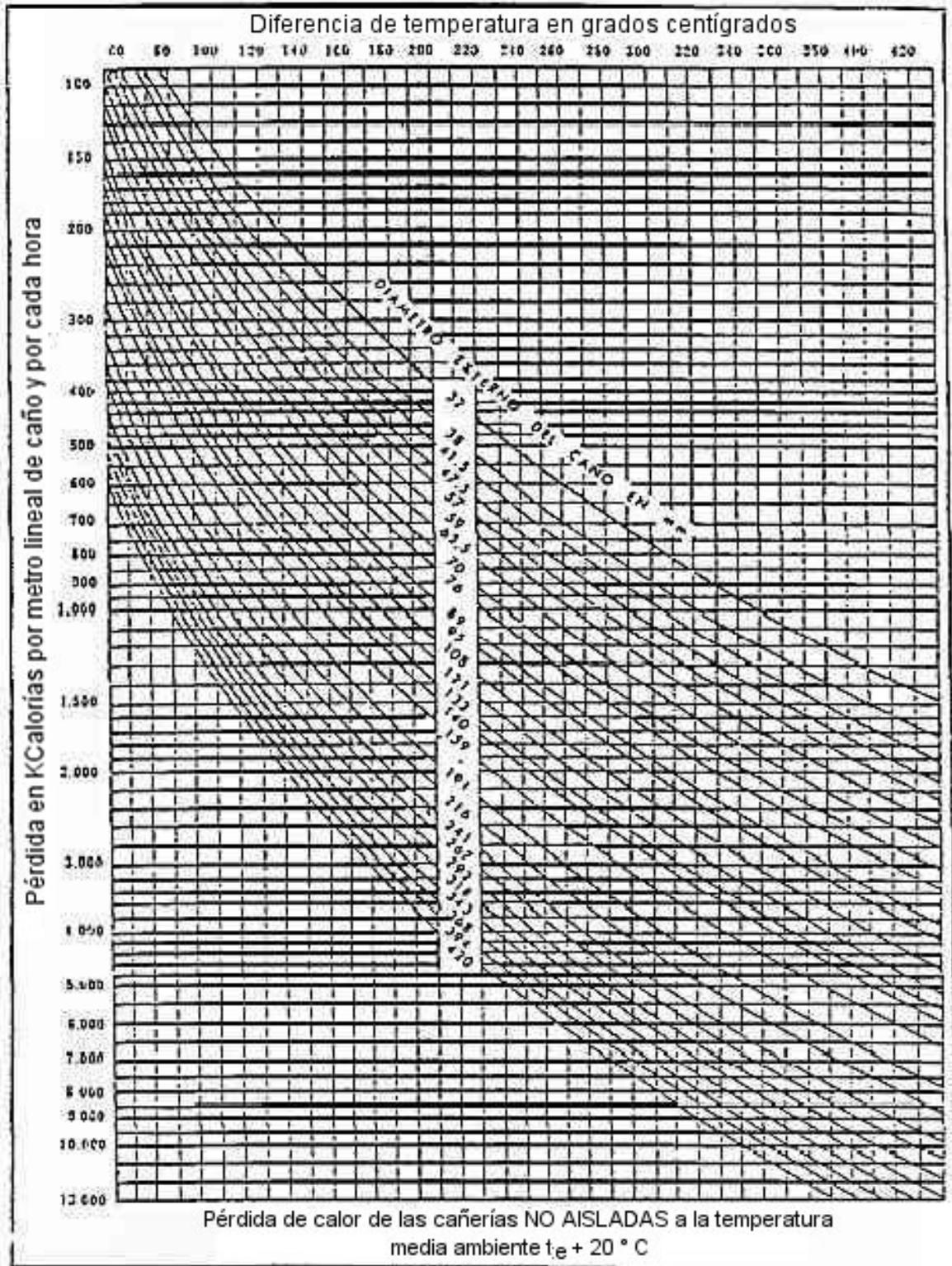


Tabla D

La pérdida anotada para la cañería de máximo diámetro (410mm.) corresponde prácticamente a la pérdida sobre superficies planas, por m^2 hora, a las diferentes temperaturas

Cañerías Industriales (Piping)

FACTOR DE CORRECCIÓN

Diámetro del caño	Espesor de las fibras en mm													
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	90	100
13	0.093	0.101	0.114	0.123	0.132	0.141	0.149	0.158	0.167					
21	0.123	0.133	0.141	0.155	0.165	0.175	0.184	0.193	0.203					
27	0.143	0.154	0.165	0.177	0.188	0.198	0.208	0.217	0.227	0.237	0.247			
30	0.153	0.165	0.175	0.187	0.199	0.209	0.219	0.229	0.239	0.249	0.259	0.269	0.279	0.289
33	0.163	0.175	0.186	0.198	0.209	0.220	0.230	0.240	0.250	0.260	0.271	0.291	0.308	0.325
38	0.179	0.190	0.203	0.214	0.226	0.237	0.249	0.258	0.269	0.279	0.290	0.310	0.329	0.347
42	0.191	0.203	0.216	0.227	0.239	0.251	0.263	0.273	0.284	0.294	0.305	0.326	0.345	0.363
44.5	0.200	0.211	0.224	0.236	0.248	0.259	0.272	0.282	0.293	0.303	0.314	0.335	0.355	0.373
48	0.211	0.223	0.236	0.247	0.259	0.272	0.284	0.294	0.305	0.316	0.327	0.348	0.368	0.388
51	0.221	0.233	0.246	0.258	0.270	0.282	0.295	0.305	0.317	0.327	0.338	0.359	0.380	0.400
54	0.230	0.242	0.255	0.267	0.280	0.292	0.305	0.315	0.327	0.338	0.349	0.371	0.391	0.411
57	0.239	0.252	0.265	0.278	0.290	0.303	0.315	0.326	0.338	0.349	0.360	0.382	0.403	0.423
60	0.249	0.262	0.275	0.288	0.301	0.313	0.325	0.337	0.348	0.359	0.371	0.393	0.414	0.435
64	0.263	0.275	0.289	0.301	0.314	0.327	0.339	0.351	0.363	0.374	0.385	0.408	0.429	0.450
70	0.282	0.295	0.309	0.321	0.335	0.347	0.360	0.372	0.384	0.395	0.407	0.429	0.450	0.471
76	0.301	0.314	0.328	0.341	0.355	0.367	0.379	0.392	0.404	0.416	0.427	0.449	0.472	0.493
83	0.323	0.337	0.351	0.365	0.378	0.391	0.403	0.416	0.428	0.440	0.452	0.474	0.496	0.518
89	0.342	0.357	0.371	0.385	0.398	0.410	0.423	0.436	0.448	0.460	0.473	0.495	0.517	0.539
95	0.361	0.376	0.391	0.405	0.418	0.431	0.443	0.456	0.469	0.481	0.493	0.515	0.537	0.560
102	0.381	0.397	0.411	0.426	0.441	0.454	0.467	0.480	0.492	0.504	0.516	0.538	0.561	0.583
108	0.403	0.418	0.433	0.447	0.460	0.473	0.487	0.499	0.511	0.523	0.536	0.558	0.581	0.603
114	0.421	0.437	0.451	0.466	0.479	0.492	0.505	0.518	0.531	0.543	0.555	0.578	0.601	0.623
121	0.441	0.457	0.473	0.488	0.501	0.515	0.528	0.541	0.553	0.565	0.578	0.601	0.625	0.648
127	0.462	0.478	0.492	0.507	0.520	0.534	0.547	0.560	0.572	0.585	0.598	0.621	0.645	0.667
133	0.481	0.497	0.511	0.526	0.539	0.553	0.566	0.579	0.592	0.605	0.617	0.641	0.665	0.687
140	0.503	0.518	0.533	0.548	0.561	0.575	0.589	0.602	0.615	0.627	0.641	0.664	0.688	0.711
146	0.522	0.537	0.552	0.567	0.580	0.594	0.608	0.621	0.634	0.647	0.660	0.683	0.707	0.731
152	0.541	0.556	0.571	0.585	0.599	0.613	0.627	0.640	0.653	0.666	0.680	0.703	0.728	0.752
159	0.563	0.578	0.593	0.608	0.621	0.635	0.649	0.663	0.676	0.689	0.703	0.727	0.751	0.775
165	0.581	0.597	0.612	0.627	0.640	0.655	0.669	0.682	0.696	0.709	0.722	0.747	0.771	0.796
171	0.600	0.616	0.631	0.646	0.659	0.673	0.688	0.701	0.715	0.728	0.741	0.766	0.791	0.815
178	0.622	0.637	0.653	0.668	0.681	0.696	0.710	0.724	0.737	0.750	0.764	0.789	0.815	0.839
191	0.663	0.678	0.694	0.709	0.723	0.737	0.752	0.766	0.779	0.793	0.807	0.832	0.858	0.883
203	0.701	0.716	0.732	0.747	0.761	0.775	0.790	0.804	0.818	0.831	0.845	0.871	0.897	0.923
216	0.741	0.757	0.773	0.788	0.802	0.817	0.831	0.846	0.861	0.873	0.887	0.914	0.939	0.965
229	0.782	0.797	0.813	0.829	0.845	0.859	0.873	0.888	0.902	0.915	0.929	0.956	0.982	1.009
241	0.819	0.835	0.851	0.866	0.881	0.897	0.911	0.927	0.941	0.955	0.969	0.995	1.021	1.048
254	0.860	0.875	0.892	0.907	0.925	0.941	0.953	0.968	0.983	0.997	1.010	1.037	1.064	1.090
267	0.901	0.917	0.933	0.948	0.964	0.980	0.995	1.010	1.025	1.039	1.052	1.079	1.106	1.132
279	0.938	0.954	0.971	0.985	1.001	1.017	1.033	1.048	1.063	1.077	1.090	1.117	1.144	1.171
292	0.979	0.995	1.011	1.026	1.042	1.058	1.074	1.089	1.105	1.117	1.132	1.159	1.185	1.212
305	1.019	1.035	1.052	1.067	1.085	1.099	1.114	1.130	1.145	1.159	1.173	1.201	1.227	1.254
318	1.059	1.077	1.093	1.109	1.124	1.141	1.156	1.171	1.187	1.201	1.215	1.243	1.269	1.296
343	1.106	1.123	1.139	1.155	1.171	1.188	1.203	1.219	1.234	1.248	1.262	1.290	1.317	1.344
368	1.214	1.232	1.249	1.265	1.281	1.298	1.313	1.330	1.345	1.359	1.373	1.401	1.428	1.456
394	1.295	1.313	1.330	1.347	1.363	1.379	1.396	1.411	1.427	1.441	1.456	1.484	1.512	1.540
419	1.374	1.391	1.408	1.425	1.441	1.457	1.473	1.490	1.506	1.520	1.535	1.563	1.591	1.620

Tabla B

LOGARITMOS NEPERIANOS									
<i>correspondientes al factor proporcional de los diámetros antes y después del aislamiento: $L \frac{di + 2e}{di}$</i>									
$L \frac{di + 2e}{di}$	ESPESOR DE LAS FIBRAS DE VICRIO MM								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
25	0.955	1.224	1.435						
27	0.908	1.169	1.376	1.548					
30	0.847	1.098	1.299	1.466					
34	0.777	1.017	1.211	1.371	1.510				
38	0.719	0.947	1.133	1.289	1.427				
42	0.649	0.887	1.066	1.219	1.349	1.467			
44	0.646	0.860	1.036	1.186	1.316	1.431			
49	0.596	0.799	0.968	1.112	1.235	1.350	1.450		
57	0.531	0.719	0.877	1.013	1.133	1.240	1.337		
60	0.510	0.693	0.847	0.980	1.099	1.201	1.299	1.386	1.467
63	0.491	0.669	0.820	0.950	1.066	1.170	1.264	1.350	1.429
70	0.451	0.619	0.762	0.887	0.999	1.099	1.189	1.273	1.350
76	0.423	0.581	0.719	0.840	0.948	1.045	1.133	1.215	1.290
82	0.397	0.549	0.680	0.797	0.898	1.020	1.082	1.161	1.234
89	0.350	0.511	0.636	0.748	0.847	0.936	1.019	1.098	1.170
96	0.318	0.486	0.606	0.714	0.811	0.898	0.978	1.056	1.126
102	0.330	0.460	0.579	0.683	0.779	0.861	0.943	1.017	1.085
108	0.317	0.441	0.554	0.650	0.749	0.831	0.908	0.981	1.047
114	0.300	0.422	0.531	0.626	0.719	0.800	0.877	0.948	1.017
121	0.285	0.402	0.507	0.602	0.688	0.768	0.843	0.911	0.976
127	0.274	0.386	0.489	0.580	0.665	0.742	0.815	0.883	0.946
133	0.262	0.372	0.470	0.560	0.642	0.718	0.790	0.856	0.917
140	0.251	0.355	0.451	0.539	0.618	0.693	0.762	0.827	0.887
146	0.241	0.344	0.431	0.522	0.588	0.672	0.739	0.804	0.863
152	0.232	0.336	0.422	0.504	0.582	0.652	0.719	0.781	0.839
159	0.219	0.310	0.405	0.489	0.560	0.631	0.693	0.757	0.814
171	0.210	0.300	0.384	0.461	0.532	0.594	0.661	0.720	0.775
178	0.199	0.293	0.370	0.441	0.517	0.580	0.642	0.693	0.752
191	0.191	0.278	0.351	0.422	0.480	0.573	0.607	0.661	0.716
203	0.180	0.262	0.336	0.400	0.466	0.525	0.580	0.635	0.685
216	0.170	0.244	0.316	0.381	0.444	0.501	0.551	0.606	0.655
229	0.161	0.231	0.300	0.361	0.422	0.476	0.531	0.580	0.627
241	0.153	0.223	0.289	0.348	0.405	0.457	0.507	0.558	0.603
254	0.146	0.213	0.276	0.333	0.386	0.439	0.490	0.536	0.582
267	0.140	0.202	0.262	0.318	0.372	0.422	0.467	0.515	0.560
279	0.132	0.195	0.254	0.306	0.357	0.405	0.451	0.498	0.542
292	0.128	0.189	0.243	0.294	0.344	0.392	0.435	0.490	0.522
305	0.122	0.178	0.233	0.281	0.331	0.378	0.422	0.463	0.504
318	0.120	0.174	0.224	0.275	0.322	0.365	0.408	0.449	0.489
330	0.114	0.167	0.217	0.265	0.310	0.352	0.396	0.436	0.474
343	0.110	0.161	0.210	0.256	0.300	0.344	0.383	0.421	0.460
350	0.108	0.158	0.206	0.251	0.295	0.337	0.377	0.415	0.452
368	0.104	0.152	0.197	0.240	0.283	0.322	0.358	0.399	0.434
420	0.091	0.134	0.174	0.214	0.250	0.288	0.322	0.357	0.388

Tabla C

Calentamiento de cañerías (tracing)

El calentamiento de cañerías se hace con la siguiente finalidad :

1. Mantener los líquidos de alta viscosidad en condiciones de escurrimiento
2. Mantener determinados líquidos, por exigencia del proceso, dentro de ciertos límites de temperatura
3. Precalentar los caños en el inicio del funcionamiento para licuar depósitos sólidos que se hayan formado en el interior de los caños cuando el sistema estuvo fuera de servicio.

El medio más utilizado en cañerías industriales es el vapor de baja presión, de 0,7 a 10 Kg/cm² saturado o sobrecalentado (steam tracing).

En todos los casos las cañerías deberán estar aisladas, sin lo cual la eficiencia del calentamiento sería muy baja.

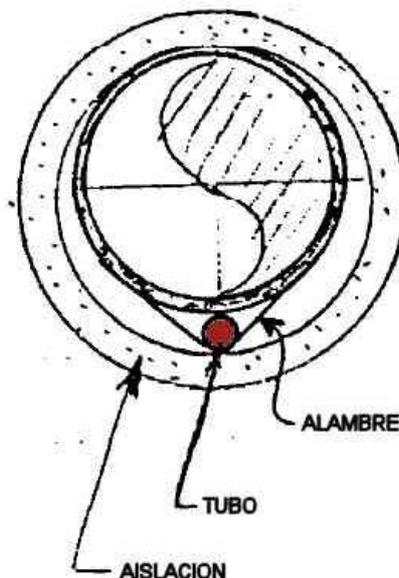
De modo general deben ser calentadas todas las cañerías que conducen fluidos de alta viscosidad o líquidos que tiendan a formar depósitos sólidos.

Todas las cañerías que necesitan calentamiento deben ser claramente indicadas en los planos por medio de convenciones. Estas indicaciones a veces son colocadas en planos, isométricos y diagramas.

Sistemas usados para calentamiento.

1.- Caños con calentamiento externo paralelo.

El calentamiento se realiza con uno o más tubos de vapor de pequeño diámetro yuxtapuestos externamente al caño principal. Son fijados con alambre galvanizado al caño, y todo el conjunto es recubierto con aislación.



Para temperaturas de vapor de 260°C y hasta diámetros de 1/2" los tubos son generalmente de cobre sin costura ASTM B-88. También se usan de aluminio B-210. Para temperatura de vapor más altas y diámetros mayores se utilizan tubos de acero al carbono.

2.- Tubo de calentamiento externo.

En este sistema el tubo de calentamiento es enrollado en espiral en el caño a calentar. Esta disposición es utilizada sólo cuando se desea un mayor intercambio de calor, o para calentamiento de accesorios o equipos de formato irregular.

3.- Tubo de calentamiento interno.

Para caños de gran diámetro, sobre 12" , debido a la dificultades de calentarlo con tubos externos suele usarse el sistema de calentamiento interno. El tubo de calentamiento es colocado internamente en la cañería a calentar, corriendo en la línea del centro de la cañería siendo mantenido en esa posición por medio de guías apropiadas. En este sistema el calentamiento es mucho mayor que en la disposición con tubos externos, pero tiene las desventajas

- a) Construcción cara y complicada
- b) Problemas de dilatación diferencial entre el caño y el tubo
- c) Posibilidad de contaminación y dificultad de localización de pérdidas para reparación y mantenimiento.
- d) No permite la limpieza mecánica de los tubos

4.- Calentamiento integral

Es un sistema pocas veces empleado; el tubo de pasaje de vapor es integral con el caño a calentar formando una pieza única.

5.- Camisa externa

En este sistema el fluido de calentamiento corre por un caño de diámetro mayor que envuelve completamente la cañería a calentar.

Es de costo elevado y mantenimiento difícil. Permite en cambio un calentamiento rápido intenso y rigurosamente controlado, siendo utilizado sólo cuando hubiese necesidad de estos requisitos.

Es frecuente el agua caliente en lugar de vapor de calentamiento para camisas externas.

6.- Calentamiento eléctrico (electric tracing)

En este sistema el calentamiento se realiza por el pasaje de una corriente eléctrica de gran intensidad en cables que se colocan a lo largo de la cañería a calentar. El voltaje utilizado es bajo.

Se ajustan los cables del mismo modo que los tubos de vapor, pero en algunos casos se les agrega un cemento especial para mejorar la transferencia térmica.

La intensidad de la corriente es regulada por un termostato cuyo bulbo es fijado al caño, midiendo la temperatura de pared del mismo. Se consigue así controlar el calentamiento con bastante precisión.

Es de mayor costo que el calentamiento por vapor pero es usado cuando no se dispone del mismo. El costo operativo en cambio, es menor que el steam tracing, y su respuesta en al partida de la operación es más rápida.

TEMA 5

Cañerías subterráneas Corrosión - Recubrimientos

CONTENIDO

<i>Cañerías Subterráneas</i>	2
Análisis de cargas.....	2
Deflexión y tensiones circunferenciales máximas	3
Deflexión o flecha máxima para materiales elásticos	4
<i>Corrosión</i>	8
Protección Catódica	10
Recubrimientos	10
Recubrimientos Internos	10

Cañerías Subterráneas

En las instalaciones industriales son las que se encuentran en menor cantidad. Se limitan a drenajes, alcantarillados, que funcionan por gravedad y de incendio, agua potable y aire comprimido.

Como las líneas subterráneas se instalan directamente sólo en suelo, sin soportes ni fundaciones, no hay motivos para ordenar los caños en haces paralelos según las líneas ortogonales de la planta ni respetar un determinado nivel. En caso de cañerías que se colocan cercanas a una calle o camino, deben tener su eje paralelo al de los mismos, mientras que las derivaciones o ramales pueden orientarse sin exigencia alguna.

En las cañerías subterráneas no se hacen cambios de dirección para darle flexibilidad por las siguientes razones :

1) La mayoría de las cañerías es fría, y como no están expuestas al sol, las dilataciones son despreciables, siendo fácilmente absorbidas por los movimientos de la cañería en el terreno.

2) Aún cuando tenga alguna temperatura superior al terreno, el movimiento de los caños en el terreno es suficiente para absorberlo.

3) En caso de dilataciones mayores se usan juntas especiales como las Dresser o Victaulic que las absorben.

En los puntos de conexión entre la cañería subterránea y los equipos sobre fundaciones se debe tener cuidado con los movimientos, asentamientos o desplazamientos del terreno, ya que pueden causar desnivel o roturas de la cañería.

Tales son por ejemplo las entradas a edificios, tanques, bombas, cámaras subterráneas de válvulas, etc. Lo mismo sucede en cañerías que tienen fundaciones por trechos y otros sectores apoyan en el terreno. Una posible solución al problema es hacer un trazado con curvas, para que las mismas absorban los movimientos del terreno.

Todas las cañerías sujetas a corrosión por parte del terreno deberán ser protegidas, por medio de cátodos de magnesio, redes de protección catódica o cintas vinílicas, con imprimación previa de la superficie.

Para las cañerías que trabajan a presión, siendo enterradas, deben tener bloques de hormigón Con anclajes en todos los puntos de cambio de dirección y periódicamente en los tramos rectos para prever cualquier movimiento de la cañería por efecto de la presión.

Análisis de cargas.

Existen dos tipos de cargas externas :

- 1) Las cargas muertas provocadas por el efecto del peso de la tierra sobre la cañería.
- 2) Las cargas vivas que pueden ser estáticas o de movimiento, (vehículos).

Determinación de las cargas vivas Según AWWA :

$$W_e = C_s \frac{P_c F}{L}$$

donde :

We = Carga viva (en Kg/m de cañería)
Cs = Coeficiente de carga en función del diámetro del caño
Pc = Carga concentrada en Kg. = 4550 Kg. (AWWA)

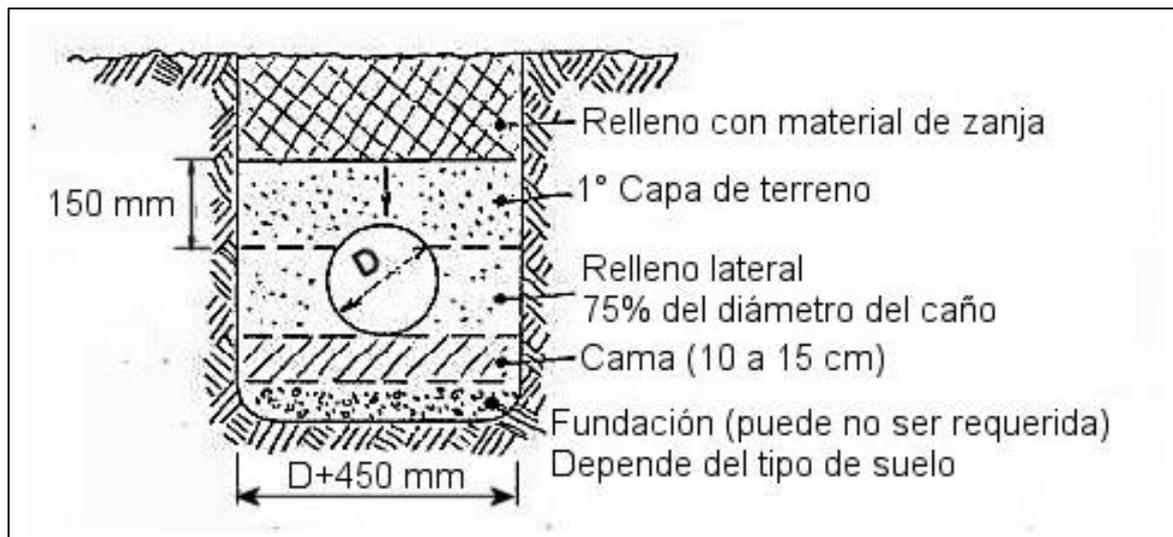
Cañerías Industriales (Piping)

F = Factor de impacto

L = Longitud efectiva del caño en el cual actúa la carga

VALORES DEL IMPACTO	
TIPO DE TRANSITO	VALOR DE F
Carretera	1,5
Ferrocarril	1,75
Aeropuertos	1,00

El valor normalmente aceptado para L (longitud de la cañería que está bajo la carga de impacto) es de 0,90 m (AWNA).



Determinación de las Cargas Muertas (cargas de tierra)

$$W_c = C_d \times w \times B_d \times D$$

donde :

W_c = Carga muerta (Kg/m de cañería)

C_d = Coeficiente de carga en función de H/B_d

H = altura del relleno,

B = ancho de la zanja.

W = Densidad del Material de relleno Kg/m³

B_d = Ancho de la zanja medida a nivel del coronamiento del caño (m).

D = Diámetro exterior del caño (m).

Deflexión y tensiones circunferenciales máximas

En cañerías rígidas sometidas a presión se puede aplicar la fórmula de Spangler, donde se considera que las líneas enterradas son sometidas a la presión externa del relleno antes de ser presurizadas. En ese caso la sección toma la forma de una elipse con su deflexión máxima Δx .

A causa de la carga externa no uniforme las tensiones provocadas en la pared del caño son del tipo "localizado" que, cuando reciben las tensiones provocadas por la presión interna se suman a ellas provocando una tensión crítica que se puede calcular por :

$$S = S_1 + S_2 = \frac{p (D - 2t)}{2t} + 0.117 \frac{C_d B_d^2 \omega E t r}{E t^3 + 2.592 p r^3}$$

donde :

S = Máxima tensión combinada, psi

S_1 = Tensión circunferencial por presión interna, psi

S_2 = Tensión de flexión por la carga de relleno, psi

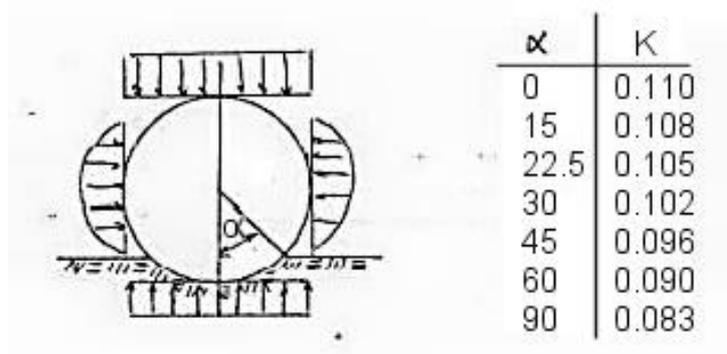
- Cd = Coeficiente de carga
- ω = Carga unitaria de relleno pcf
- Bd = Ancho de la excavación en el coronamiento. del caño ft
- E = Módulo de elasticidad del caño (metálico) psi
- D = Diámetro del caño (ext) in.
- t = Espesor de la pared del caño in
- r = Radio medio del caño = (D - t)/2, in.

Deflexión o flecha máxima para materiales elásticos

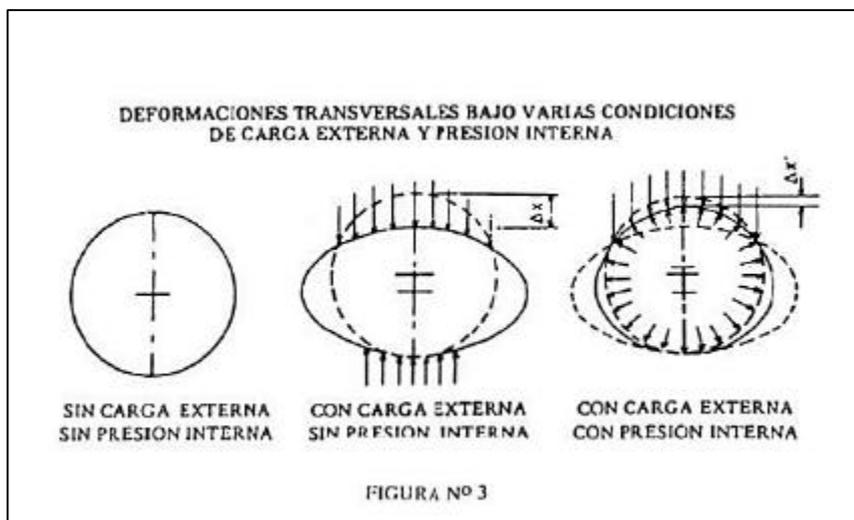
En el caso de caños no metálicos, PVC, HDPE, poliéster, el caso crítico se presenta por la flecha. Sucede también en caños metálicos corrugados. Se calcula por :

$$\Delta x = De \frac{K Wc r^3}{E I + 0.061 E' r^3}$$

- Δx = Flecha del caño in
- k = Parámetro en función del ángulo de apoyo del caño



- Wc = Carga total sobre el caño, pli
- r = Radio medio in
- E = Módulo de elasticidad del caño psi
- I = Momento de inercia del caño (in⁴/in)
- E' = Módulo de reacción del suelo psi
- e = Módulo de resistencia pasiva del suelo a los lados del caño psi por in
- De = Factor de deflexión por apoyo.



		VALORES DE D_e^*					
		BUREAU OF RECLAMATION					
		VALORES PARA D_e					
		TIPO DE SUELO EXISTENTE					
		TIPO II	TIPO III	TIPO IV _b < 250/0 arenas	TIPO IV _a y TIPO V	Suelos cementados con sales solubles	
Material Encamado	Suelos grano grueso	TIPO II	1	1.5	1.75	2.0	N/R
	Suelos cohesivos	TIPO III	1.5	1.6	1.75	N/R	N/R
TIPO IV _b		2.0	2.5	3.0	N/R	N/R	
TIPO IV _a		N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	
TIPO V		N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	

NOTA: N/R = No recomendable.
* Factor deformación largo plazo.

TABLA VII

VALORES DE ω PARA DISTINTOS MATERIALES DE RELLENO

MATERIAL DE RELLENO	ω según grado de compactación (ton/m ³)			
	Suelto	Moderado	Media	Alto
a. Granular grueso sin cohesión	1.8	1.9	2.0	2.2
b. Grava gruesa húmeda con contenido de finos	1.7	1.8	1.9	2.0
c. Grava fina, arena, maicillo	1.6	1.7	1.8	1.9
d. Limo no saturado	1.4	1.6	1.7	1.8
e. Arcilla saturada	1.6	1.8	1.9	—
f. Piedra Pómez	1.5	1.4	1.5	1.7

VALORES DE E' PARA FORMULA DE IOWA
BUREAU OF RECLAMATION

Tipo de suelo según ASTM 2321	Suelo según Unified Classification System (1)	Suelto	Sin compactación < 85°/o Proctor < 40°/o den. rel.	Moderada 85-95°/o Proctor 40-70°/o den. rel.	Alta > 95°/o Proctor > 70°/o den. rel.
V (2)	Suelos Finos Limite Líquido > 50 Suelos con media a alta plasticidad CH, MH, CH-MH	No existe información. Consulte un mecánico de suelos o use E' = 0			
IV _a	Suelos finos. Limite líquido < 50 Plasticidad media a sin plasticidad CL, ML, ML-CL con menos de 25°/o de partículas gruesas	3,5	14	28	70
IV _b	Idem anterior con más de 25°/o de partículas gruesas	7	28	70	140
III	Suelos gruesos con más de 12°/o finos GM-GC, SM SC3				
II	Gruesos con menos de 12°/o de finos GW, GP, SW, SP3	14	70	140	210
I	Tamizado	70	210	210	210

(1) Designación ASTM D-2487, USBR E3

NOTA: Esta tabla es válida sólo para rellenos hasta 15 metros.

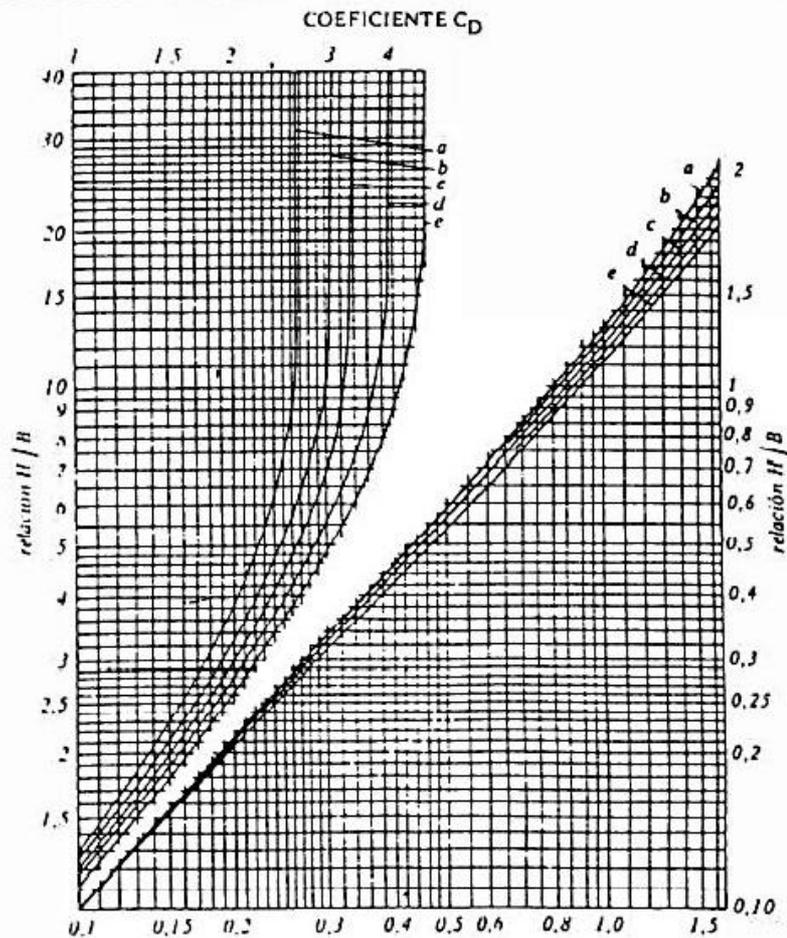
GRAFICO REPRESENTATIVO PARA CALCULAR EL COEFICIENTE C_D
 EN FUNCION DE $\frac{H}{B_d}$

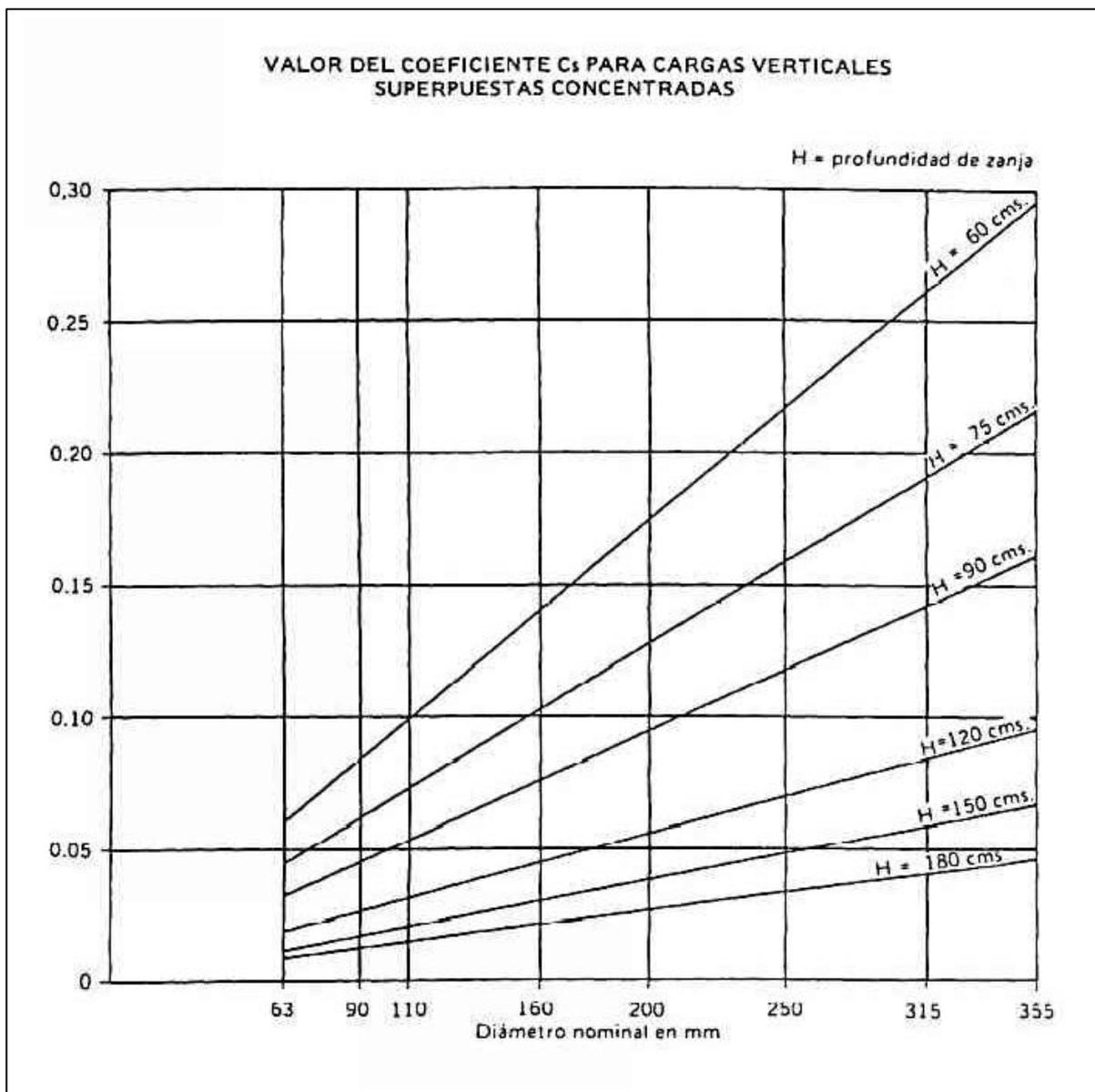
$$C_d = \frac{1 - e^{-2 k \mu' H/B}}{2 k \mu'}$$

k = Radio de Rankine

μ' = Coeficiente de fricción entre el material de relleno y los lados de la zanja.

Material de relleno	Valores de $k\mu'$
a. Granular grueso sin cohesión	0,1924
b. Grava gruesa húmeda con contenido de finos	0,165
c. Grava fina, arena, maicillo	0,150
d. Limo no saturado	0,130
e. Arcilla saturada	0,110
f. Piedra Pómez	0,090





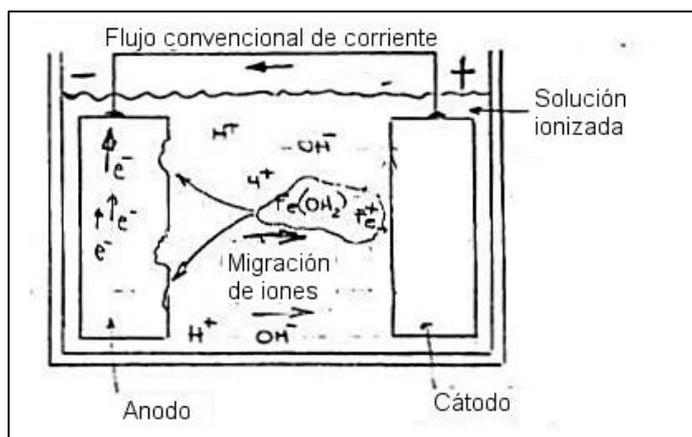
Corrosión

La corrosión metálica, tal como se presenta en cañerías enterradas es un proceso de naturaleza electroquímica en la cual, la presencia del oxígeno, en alguna medida es necesaria.

Los elementos para que se produzca una celda de corrosión son

1. Deben existir un ánodo y un cátodo
2. Debe establecerse un potencial eléctrico entre el ánodo (-) y el cátodo (+)
3. Debe existir un conductor que conecte el ánodo con el cátodo
4. El ánodo y el cátodo deberán estar sumergidos en un electrolito conductor de la corriente eléctrica, el cual deberá ser capaz de ionizarse, o sea que las moléculas de agua se descompongan en iones de hidrógeno (H^+) cargados positivamente y en iones hidroxilo (OH^-) cargados negativamente.

Una vez que se conjugan estas condiciones, se establece un flujo de corriente y el metal que actúa como ánodo se consumirá.



La diferencia de potencial establecida entre el ánodo y el cátodo produce una migración de electrones del ánodo al cátodo a través del puente metálico que los conecta.

Al perder electrones el ánodo, en este caso hierro, permanecen átomos de hierro con carga positiva los cuales se combinan con los iones hidroxilos que se encuentran en el electrolito para formar hidróxido ferroso (Fe(OH)_2) que por reacciones posteriores se convierte hidróxido férrico ($\text{Fe}_2\text{(OH)}_3$) que es comúnmente conocido como óxido.

En el cátodo, el exceso de electrones proveniente del ánodo se combina con los iones positivos de hidrógeno del medio electrolítico formándose hidrógeno molecular. Este hidrógeno es la base de la "película de polarización" que se forma alrededor del cátodo. Esta película de polarización es un factor importante en el control del flujo de corriente ya que se considera que constituye una barrera aislante que aumenta la resistencia en el circuito y reduce el flujo de corriente.

Es importante hacer notar que aún cuando se ha indicado que los electrones fluyen del ánodo al cátodo, el flujo convencional de la corriente es del polo positivo al negativo, o sea del cátodo al ánodo, a través del circuito metálico y del ánodo al cátodo a través del electrolito.

Por lo tanto la corrosión se llevará a cabo en el **ÁNODO**, o sea en el metal de donde sale la corriente, para entrar al electrolito, el metal que actúa como cátodo, o sea aquel que recibe la corriente proveniente del electrolito, normalmente no se corroe.

El hecho de que un metal actúa como ánodo con respecto a otro que actuará como cátodo, dependerá de la posición relativa que ambos metales ocupen en la serie galvánica de fuerza electromotriz como la que se indica en la tabla de página siguiente.

De acuerdo con esta tabla, los metales que ocupan posiciones relativamente superiores actuarán como ánodos con respecto a los que ocupan posiciones inferiores, que actuarán como cátodos. El grado de separación de los dos metales en la tabla también da una indicación de la magnitud del potencial.

METAL	VOLTS(*)
Magnesio	- 2,37
Aluminio	- 1,66
Zinc	- 0,76
Hierro	- 0,44
Estaño	- 0,14
Plomo	- 0,13
Hidrogeno	0,00
Cobre	+ 0,34 a + 0,52
Plata	+ 0,80
Platino	+ 1,20
Oro	+ 1,50 a + 1,68

* Potencial de media celda en solución de sus propias sales, medido con respecto a un electrodo de referencia de hidrógeno.

En electrolitos de composiciones diferentes tales como distintos tipos de suelos, estos potenciales naturales pueden variar con respecto a los indicados en la tabla.

La tabla indicada muestra una serie para metales puros, sin embargo, existen muchas tablas de carácter práctico en las que se presentan series galvánicas para aleaciones y metales tipo comercial.

En una cañería enterrada se puede decir que la corriente fluirá desde una zona anódica hasta una zona catódica a través de la pared del caño mismo y de la zona anódica pasará al electrolito, en este caso la tierra en la que se encuentra enterrada la cañería, regresando, para cerrar el circuito a la zona catódica.

Por lo tanto la corrosión se llevará a cabo en la zona anódica, de donde sale la corriente hasta el electrolito.

Protección Catódica

De lo expuesto anteriormente, se deduce que si de alguna forma se pudiera hacer que toda la superficie de una cañería enterrada recibiera corriente, esta no se corroerá, ya que en este caso toda la cañería estaría actuando como cátodo.

En esto consiste la protección catódica, mediante una fuente externa de corriente continua, comúnmente un rectificador, se fuerza un flujo de corriente hacia toda la superficie de la cañería.

Si este flujo de corriente es suficientemente intenso, contrarrestará la descarga de corriente de las zonas anódicas de la cañería y el flujo neto de corriente será HACIA LA CAÑERÍA en esta zona. Con esto la línea actuará como cátodo y se obtendrá una protección total contra la corrosión.

El problema práctico que se presenta en el caso de la protección catódica es de carácter económico. El costo de la protección de una cañería de varios Km de longitud puede ser muy alto. La cañería desnuda requiere un promedio de 1 mA por pie cuadrado de superficie.

Existen sistemas de protección catódica basados en líneas de polímeros conductores que corren paralelas a las líneas de cañerías. Estos cables de polímero conductor ofrecen una protección muy eficiente.

Recubrimientos

Aparte de los esmaltes, aplicados en frío y en caliente, se utiliza ampliamente la protección anticorrosiva por medio de cinta vinílica aplicadas con primer.

Las cintas de polietileno funcionan con éxito en un intervalo de temperaturas entre -34_C a 83_C. Su eficiencia comprobada es de un 99% en formar una barrera a la transmisión de corriente entre las paredes del caño y el terreno.

Se aplican con pintura bituminosa o "primer" y deben estar solapadas para formar una superficie hermética.

En caso de requerirse una protección absoluta se combinan la provisión catódica de corriente continua sumada a la protección con recubrimiento, pero en este caso es mucho menor el suministro de corriente.

Recubrimientos Internos

Para el caso de cañerías sujetas a corrosión o erosión (caso de fluidos con partículas sólidas) puede optarse por utilizar cañerías de acero revestidas en resinas antierosivas o anticorrosivas.

En algunos casos estos revestimientos pueden ser de materiales refractarios, para altas temperaturas combinadas con erosión o esmaltado- vidriado para ácidos muy corrosivos.

Veamos un ejemplo con cañerías de acero para 150 revestidas en resinas :

Cañerías Industriales (Piping)

POLÍMERO	ABREVIATURA	ASTM	TEMPERATURA
Politetrafluoroetileno	PTFE	F423	-29°C a 260°C
Perfluoroalcoxileno	PFA	F781	-29°C a 260°C
Polivinilideno Fluoruro	PVDF	F491	-29°C a 135°C
Perfluoroetileno-propileno	FEP	F456	-29°C a 177°C
Polipropileno	PP	F492	-29°C a 107°C

Los espesores de recubrimiento interno varían según sea el diámetro desde 1/8" a 0,160" y 1/4" para cañerías de hasta 30".

Limpieza De Superficies

Distintos procesos :

- ◆ Limpieza química
 - Con solventes
 - Con álcalis
 - Con ácidos
- ◆ Limpieza con chorro de vapor
- ◆ Limpieza con chorro de arena
- ◆ Limpieza mecánica : - Eléctrica - Neumática
- ◆ Limpieza manual

La limpieza con solventes y con álcalis, cuando está bien realizada, remueve completamente los aceites, grasas y pinturas, mientras que no puede hacer lo mismo con las capas y escamas de óxido, o de laminación. En las cañerías estos métodos de limpieza se emplean sólo para extraer localmente manchas de aceite, grasa y pintura antes de la aplicación de otros métodos de limpieza. Los álcalis deben ser completamente removidos por lavado con agua antes de aplicar pintura.

La limpieza con ácidos da excelente resultados, pero es un proceso muy caro y complicado, limitándose su uso para algunas piezas fabricadas en taller, para las cuales sea necesaria una pintura de muy buena calidad.

El mejor de estos sistemas es el llamado decapado (pickling) que consiste en la inmersión completa de la pieza en un baño caliente de ácido, generalmente clorhídrico o fosfórico. El decapado deja la superficie del caño enteramente libre de impurezas, incluyendo óxidos, y deja una delgada capa de fosfato de Fe que facilita la adherencia de la pintura.

El chorro de vapor se usa para remoción de capas de grasa o aceites localizadas en pequeños sectores.

La limpieza con arena, o "sand blasting" es un sistema muy usado para la limpieza de tramos rectos en playas de almacenamiento, previo a la pintura con antióxidos y en "spools" o prefabricados en taller.

Consiste en lanzar sobre la pieza un chorro de arena a alta presión, previamente secada por calentamiento y de granulometría controlada por filtrado. Es impulsada por aire comprimido. Requiere por tanto un compresor, un sistema de tamices, y un secador de arena. Por causa de la arena abrasiva que se dispersa en todas direcciones se debe realizar a la intemperie. Hay varios grados de calidad de limpieza por arena pero los más usados son los "calidad comercial" y "metal blanco".

El segundo consiste en la extracción completa de todas las impurezas, dejando el metal brillante. Rara vez es usado por el alto costo. El "calidad comercial" deja en cambio algunos vestigios de óxido pero es el más usado.

La limpieza mecánica es el proceso más utilizado en talleres o en el interior de instalaciones industriales. Se realiza por medio de cepillos metálicos y esmeriles, accionados eléctricamente o con aire comprimido. Se consigue un grado de limpieza similar al de "calidad comercial". Las manchas de aceite o grasa es conveniente removerlas con algún proceso químico.

TEMA 6

La temperatura en el diseño de Cañerías

CONTENIDO

<i>La temperatura en el diseño de cañerías</i>	2
Tensiones internas y reacciones provenientes de la dilatación térmica.	2
Como controlar la dilatación	2
Influencia del trazado en la flexibilidad de cañerías	3
Pretensionado y relajamiento espontaneo	4
<i>Cálculos de flexibilidad</i>	4
Métodos de análisis	5
Tensiones en flexibilidad	5
Calculo de las reacciones (cañerías metálicas)	6
<i>Cálculo de flexibilidad por computadora</i>	7

La temperatura en el diseño de cañerías

Tensiones internas y reacciones provenientes de la dilatación térmica.

Cuando un caño es sometido a una variación de temperatura sufrirá una variación en su longitud. Si el caño estuviese libre y no se generarán tensiones internas ni reacciones. Pero, si el caño estuviera fijado de alguna forma, aparecerán tensiones internas en el caño y reacciones en los puntos de fijación, como consecuencia de las restricciones impuestas a la libre dilatación del mismo.

En un caño recto, anclado en dos extremos, la fuerza ejercida por la dilatación se puede calcular por

$$\frac{P/A}{\delta / L} = E$$

donde :

- P = empuje sobre los puntos de fijación
- A = área de la sección transversal del caño
- δ = dilatación libre del caño
- L = longitud del caño
- E = módulo de elasticidad del material

P/A es la tensión interna S a la que el material está sometido como consecuencia de la dilatación restringida. δ / L se llama dilatación unitaria que es función de la diferencia de temperatura y del material. Los valores de e pueden obtenerse en tablas. La fórmula se transforma en : $S/e = E$ o $S = eE$ y también $P = AS$, expresiones que nos permiten calcular la tensión interna y el empuje reacción. Vemos que todas son independientes de la longitud del tubo.

Los valores de los empujes son enormes; por lo tanto debe evitarse la existencia de puntos fijos en un tramo recto, pues en el mejor de los casos, los empujes son absorbidos por el fenómeno de pandeo que se produce en el caño. Si por el contrario tuviésemos una configuración geométrica no rectilínea cualquiera, la dilatación del mismo producirá no sólo empujes sino también momentos de reacción en los puntos fijos.

Cuando hay una disminución de la temperatura se producirán fenómenos inversos, de contracción. En este caso el esfuerzo sobre el caño será de tracción, correspondiente a la reducción de longitud del caño. No existirá el pandeo y todo el esfuerzo será absorbido por los puntos fijos.

El enfriamiento del caño es menos frecuente y las diferencias de temperatura menores, pero aún así, es conveniente tenerlo en cuenta.

Como controlar la dilatación

Los siguientes son algunos métodos para controlar los efectos de la dilatación térmica :

1. Uso de elementos deformables en la línea, de modo que absorben la dilatación.
2. Geometría de la línea de manera de evitar tramos rectos por medio de ángulos en un plano o en el espacio, de modo que el propio caño pueda absorber las dilataciones gracias a su flexibilidad.
3. Pretensionado (cold-spring), que consiste en introducir tensiones iniciales en el montaje, de signo opuesto a las previstas durante la operación.

Los elementos más usados para absorber dilataciones son las juntas de expansión que veremos en el Tema 7.

La flexibilidad en una cañería puede definirse como la capacidad de absorber las dilataciones térmicas por medio de simples deformaciones en los tramos de la línea.

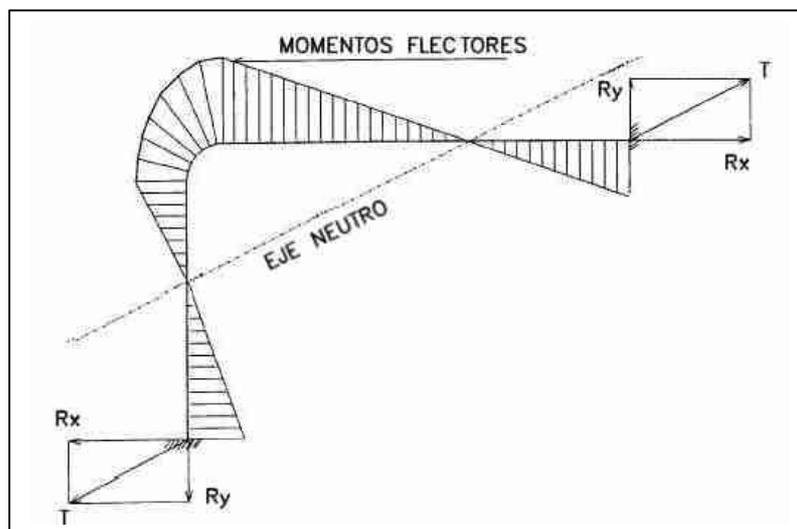
El uso de las juntas de expansión se restringe en cambio a casos especiales, del mismo modo que los pretensados o cold-spring, son poco usados porque requieren un estricto control de montaje.

Para una misma dilatación total, se dice que el sistema es tanto más flexible cuanto menor son las tensiones internas y las reacciones sobre los puntos fijos. Esta flexibilidad es considerada apropiada cuando las tensiones provocadas no son mayores que las tensiones admisibles de comparación.

Se logra flexibilidad en una cañería cuando, como resultado de cambios en su geometría se transforman pandeo y flexión y torsión para las tridimensionales.

Por lo tanto, **será mayor la flexibilidad de una cañería cuanto más se aparte de la línea recta.**

En toda línea de cañerías, la contribución de cada tramo a la flexibilidad total será proporcional a la distancia media de ese tramo al eje neutro del sistema. El eje neutro es la línea recta paralela a la dirección de las resultantes de las reacciones ejercidas por el sistema sobre los puntos extremos de fijación. La tensión interna en cada punto considerado al eje neutro. Para los puntos de intersección de la cañería con el eje neutro, las tensiones son nulas.



Una cañería tridimensional es, en general más flexible que una plana de la misma longitud, pues el efecto de torsión es aproximadamente un 30 % más eficiente para la flexibilidad que el de flexión, en las mismas condiciones restantes.

Para un mismo diámetro, las tensiones son independientes del espesor del caño porque si por un lado el aumento del espesor supone mayor esfuerzo para flexionar el caño, por otro aumenta también el área para soportarlo.

No tendría que tener la cañería excesiva flexibilidad, pues debemos recordar el alto costo que significa en longitud de cañería, soportes etc.

Influencia del trazado en la flexibilidad de cañerías

La cañería será tanto más flexible cuanto :

- ◆ Mayor sea su longitud desarrollada respecto a la distancia entre puntos extremos.
- ◆ Más simétrico sea su trazado.
- ◆ Menores sean las desproporciones entre los diversos tramos.
- ◆ Mayor libertad de movimientos se disponga en la línea.

Pretensionado y relajamiento espontaneo

El pretensionado (cold-spring) consiste en introducir en la cañería, durante el montaje, tensiones iniciales de la misma naturaleza y de signo contrario de las que se originarán a consecuencia de la dilatación.

La cañería se corta a una longitud menor de la que tendría si estuviese fría, y después forzada a la posición que tendría caliente, provocando así tensiones opuestas a las que surgirán por la dilatación.

En la práctica no se hace el cold-spring total porque sería introducir en el caño tensiones que justamente queremos evitar sino que se toma un valor del 50 % o menos. Cuando la cañería comienza a dilatarse, pasa a la condición de tensiones nulas y luego toma, en caliente una posición que genera tensiones que, lógicamente son menores que las que alcanzaría sin el cold-spring.

El porcentaje éste se llama factor de pretensionado.

Debido a la rigurosidad de las dimensiones, se utiliza en casos extremos. Un error en el montaje puede generar grandes tensiones no previstas.

El relajamiento espontáneo, (self springing) es un fenómeno que se produce en gran número de líneas calientes de acero y que contribuye a reducir tensiones finales causadas por las dilataciones. A medida que la temperatura se eleva en la línea aumentan las tensiones hasta que por efecto de la temperatura el valor del límite de fluencia disminuye a tal punto que el material fluye donde hay mayor concentración de tensiones. Se producen en esos puntos deformaciones plásticas que efectúan una redistribución tensional en toda la línea, hasta ser alcanzada la temperatura y la posición final de equilibrio.

Cálculos de flexibilidad

Se denominan así los cálculos de las tensiones internas en una cañería, aún operando frías, y de las reacciones que se producen en los puntos de apoyo, extremos y soportes intermedios.

En el Parag. 319.4.1 de ANSI B31.3 se establecen las excepciones que dispensan realizar estos cálculos. Se aplican a los sistemas comprendidos en los siguientes casos :

- Quando son duplicados de otras instalaciones que operan con éxito o reemplazo de las mismas, sin cambios significativos.
- Quando pueden ser juzgados adecuados por comparación con sistemas previamente analizados.
- Quando son de diámetro uniforme, no tienen más de dos puntos fijos, sin restricciones intermedias, y caen dentro de las limitaciones de la ecuación empírica.

$$\frac{D y}{(L - U)^2} \leq K_1$$

donde :

D = diámetro externo de la cañería - in (mm)

y = resultante de todas las deformaciones in (mm.) a ser absorbidas por el sistema de cañería

L = desarrollo de la longitud de la cañería entre anclajes ft (m)

U = distancia en línea recta entre anclajes ft (m)

K1 = 0.03 para unidades inglesas - 208.3 para unidades métricas

Es importante consultar las excepciones a la aplicación de ésta fórmula en el código (NOTA 9) antes de usarla.

Métodos de análisis

- a) Todos los sistemas no comprendidos en el par. 319 de ANSI, serán analizadas por simplificación, aproximación o métodos comprensivos de análisis apropiados para cada caso específico.
- b) Los métodos simplificados o aproximados pueden ser aplicados sólo si son utilizados en el intervalo de configuraciones para los cuales su adecuación ha sido demostrada.
- c) Los métodos comprensivos aceptables de análisis incluyen los analíticos y gráficos que dan una evaluación de fuerzas, momentos y tensiones causadas por desplazamientos debido a deformaciones.
- d) Los métodos analíticos tomarán en cuenta los factores de intensificación de tensiones para todos los componentes excepto los caños rectos. Podrá tomarse flexibilidad adicional para tales componentes.

Tensiones en flexibilidad

La tensión combinada resultante de los diversos esfuerzos debidos a la dilatación térmica (S_e) no debe ser superior al valor de S_a , dado por la expresión :

$$S_a = f(1.25 S_c + 0.25 S_h)$$

donde :

f = factor de reducción para servicios cíclicos.

S_c = tensión admisible del material en frío.

S_h = tensión admisible del material a la temperatura de operación.

$f = 1$ para cañerías con menos de 7000 ciclos de calentamiento - enfriamiento, durante su vida útil (ver tabla 302.3.5 del Código ANSI). La tensión resultante combinada de las dilataciones térmicas. Será calculada por la siguiente expresión :

$$S_e = \sqrt{S_b^2 + 4 S_t^2}$$

siendo

$$S_b = \sqrt{(i M_{bp})^2 + (i M_{bt})^2}$$

$$S_t = M_t / 2 Z$$

donde :

S_b = tensión resultante normal

S_t = tensión resultante tangencial

M_{bp} = momento flector resultante en el plano de la pieza

M_{bt} = momento flector resultante en el plano perpendicular al de la pieza

M_t = momento de torsión resultante

Z = momento resistente de la sección transversal del caño

i = factores de intensificación de tensiones

M_{bp} , M_{bt} y M_t son momentos provenientes de los esfuerzos de dilatación.

La expresión que da el valor de la tensión combinada S_e se deriva de la teoría de ruptura por corte

máximo. Los momentos flectores y de torsión M_{bp} , M_{bt} y M_t deberán ser calculados por algunos de los métodos mencionados anteriormente por la norma ANSI, con la aproximación adecuada.

Es importante observar que en todos los casos, la norma establece que los momentos sean calculados en función del módulo de elasticidad en frío del material. Esta consideración va a conducir evidentemente a valores mayores que los reales para los momentos. Los factores de intensificación de tensiones, tal como los define la norma son aquellos que expresan, para cada tipo de accesorio, las concentraciones de tensiones que se verifican como consecuencia de las discontinuidades causadas por ellos.

Estos factores incrementan como multiplicadores, los momentos y fuerzas actuantes sobre los accesorios en el cálculo de las tensiones.

Los factores de flexibilidad también afectan a los accesorios. Son la relación entre la flexibilidad de los mismos respecto a la que tiene un tramo recto de caño a las mismas condiciones de temperatura y cargas.

Ambos figuran en tablas en el apéndice D de la Norma.

Calculo de las reacciones (cañerías metálicas)

La norma considera tanto las producidas sobre el sistema en frío como en caliente.

Para un sistema de dos anclajes sin restricciones intermedias los valores instantáneos de las fuerzas reactivas pueden ser calculadas como sigue :

- a) Para condiciones extremas de desplazamiento R_m . La temperatura para este caso es la máxima o mínima del metal del caño, para la cual se produce la mayor reacción :

$$R_m = R \left(1 - \frac{2C}{3} \right) \frac{E_m}{E_a}$$

donde :

C = factor de pretensionado, que varía de cero, para ningún "cold-spring" a 1.0 para 100%. (El valor de 2/3 (0.66) es el límite en el cual, por experiencia, no se pueden ya asegurar buenos resultados aún con precauciones extremas).

E_a = módulo de elasticidad a la temperatura de instalación.

E_m = módulo de elasticidad a la máxima o mínima temperatura del metal.

R = rango de reacción de las fuerzas o momentos (obtenido del análisis de flexibilidad) correspondiente al desplazamiento total y basado en E_a .

R_m = fuerza o momento instantáneo máximo estimada de reacción a la temperatura mínima o máxima del metal.

- b) Para condiciones originales R_a La temperatura considerada para éste cálculo es la de la cañería durante el montaje.

Ra = CR ó C1R cualquiera sea mayor donde es válida la nomenclatura antes mencionada y además

:

$$C1 = 1 - \frac{Sh Ea}{Sa Em}$$

donde :

C1 = factor de relajación estimado. Se usará cero si el valor calculado de C1 es negativo.

Ra = fuerza o momento instantáneo de reacción a la temperatura de instalación.

SE = rango de tensión para los desplazamientos

Sh = tensión admisible del metal a la temperatura de diseño.

Cálculo de flexibilidad por computadora

Los diferentes software que resuelven el problema del cálculo de flexibilidad poseen planillas de entrada de datos en las cuales deben hacerse constar todas las características de las líneas

- ◆ Tipo de fijación en los puntos terminales
- ◆ Dimensiones y dirección de cada tramo y su material
- ◆ Guías de soportes y sentido de restricción
- ◆ Temperatura de trabajo
- ◆ Tipo de accesorios
- ◆ Diámetro y sch. del caño y accesorios
- ◆ Reducciones
- ◆ Soportes elásticos y sus constantes

Todos estos datos son ingresados en la planilla, como primer paso del cálculo.

El segundo paso es el procesamiento de esos datos

El tercero es la emisión de informes de los resultados que en algunos casos es posible analizarlos en pantalla y generalmente el mismo programa avisa la existencia de sobretensiones. Esto permite modificar algunos datos y procesar nuevamente.

Finalmente se emiten las memorias del cálculo definitivas y se analizan las fuerzas actuantes, los momentos, los desplazamientos lineales y angulares y se comparan con los admisibles, tanto en la cañería como en los equipos. De estos informes surgen las cargas que actúan sobre los equipos, bombas, compresores, tanques etc., a los que están vinculadas las líneas. Esto puede resultar en un nuevo cálculo de flexibilidad o aún en la modificación de la geometría de la línea, para el caso de cargas superiores a las admitidas por el equipo.

TEMA 7

Soportes de Cañerías

CONTENIDO

<i>Soportes de cañerías</i>	2
Definición y Clasificación:	2
1.- Soportes destinados a sostener pesos.	2
2.- Soportes destinados a limitar los movimientos de los caños.	2
3.- Dispositivos que absorben las vibraciones - amortiguadores	2
Esfuerzos que actúan sobre los soportes.	2
Soportes rígidos	3
Contacto entre caños y soportes	5
Soportes Semi-rígidos	6
Soportes especiales para caños livianos	7
Soportes de contrapeso	10
Soportes que limitan los movimientos de las cañerías	11
Soportes para cañerías sujetas a vibraciones	13
Fuerzas de fricción sobre soportes	14
<i>Juntas de expansión</i>	16

Soportes de cañerías

Definición y Clasificación:

Son los dispositivos destinados a soportar los pesos y los demás esfuerzos ejercidos por los caños o sobre los caños transmitiendo al suelo, a estructuras vecinas, a equipos o en algunos casos, a otros caños.

1.- Soportes destinados a sostener pesos.

Rígidos

- 1.- Apoyados
- 2.- Colgantes

Semi-rígidos (Pipe Hangers)

No rígidos

- 1.- Soportes a resorte (Spring-hangers)
- 2.- Soportes a contrapeso.

2.- Soportes destinados a limitar los movimientos de los caños.

- ◆ Dispositivos de fijación total - Anclajes
- ◆ Dispositivos que permiten sólo movimientos axiales - Guías
- ◆ Dispositivos que impiden el movimiento en un sentido
- ◆ Dispositivos que impiden los movimientos laterales - Vientos o bracing.

3.- Dispositivos que absorben las vibraciones - amortiguadores

Esta clasificación es no muy rigurosa, ya que la mayor parte cumple más de una de las funciones que anteceden. Casi todos los soportes que limitan movimientos también sustentan pesos y recíprocamente todos los que se diseñan para soportar pesos ejercen alguna limitación en los movimientos de la cañería.

Esfuerzos que actúan sobre los soportes.

1.- Pesos

- ◆ Peso de los caños, accesorios, válvulas y equipos que estén vinculados a la cañería, y que no tengan soportes o fundaciones propias.
- ◆ Peso del fluido contenido.
- ◆ Peso de la aislación térmica, si hubiera.
- ◆ Sobrecargas diversas ejercidas sobre la cañería, tales como el peso de otros, personas, plataformas etc., apoyados sobre la cañería.

2.- Fuerzas de rozamiento provenientes de los movimientos relativos entre los caños y los soportes.

3.- Esfuerzos provenientes de las dilataciones de los caños.

4.- Esfuerzos dinámicos diversos, tales como golpes de ariete, aceleraciones del fluido circulante, vibraciones, acción del viento, etc.

Todos estos esfuerzos deben ser evaluados para poder calcular las cargas ejercidas sobre los soportes y transmitidas al suelo, o a las estructuras y fundaciones.

Para el peso del fluido debe ser considerado el peso del agua (para la prueba hidráulica) en caso que éste sea mayor que el del fluido conducido.

Para caños que conducen gas o vapor es a veces más económico construir soportes provisorios sólo para la prueba hidráulica.

Soportes rígidos

Se llama así a los soportes fijos, es decir que no permiten ningún grado de libertad para la cañería, y son los más comunes. Pueden ser de apoyo o colgantes, según sea la forma en que transmitan las cargas.

Existe gran cantidad de modelos como los que se muestran en la pag. siguiente .

Los tipos a) y b) son soportes simples, directos, destinados a caños situados a poca altura y que transmiten los pesos directamente al suelo o a algún piso. El soporte a) es simplemente un muro de hormigón en el que está anclado un perfil metálico que constituye la superficie de apoyo de los caños. El soporte b) es una viga metálica apoyada en bloques de hormigón o en estructuras metálicas.

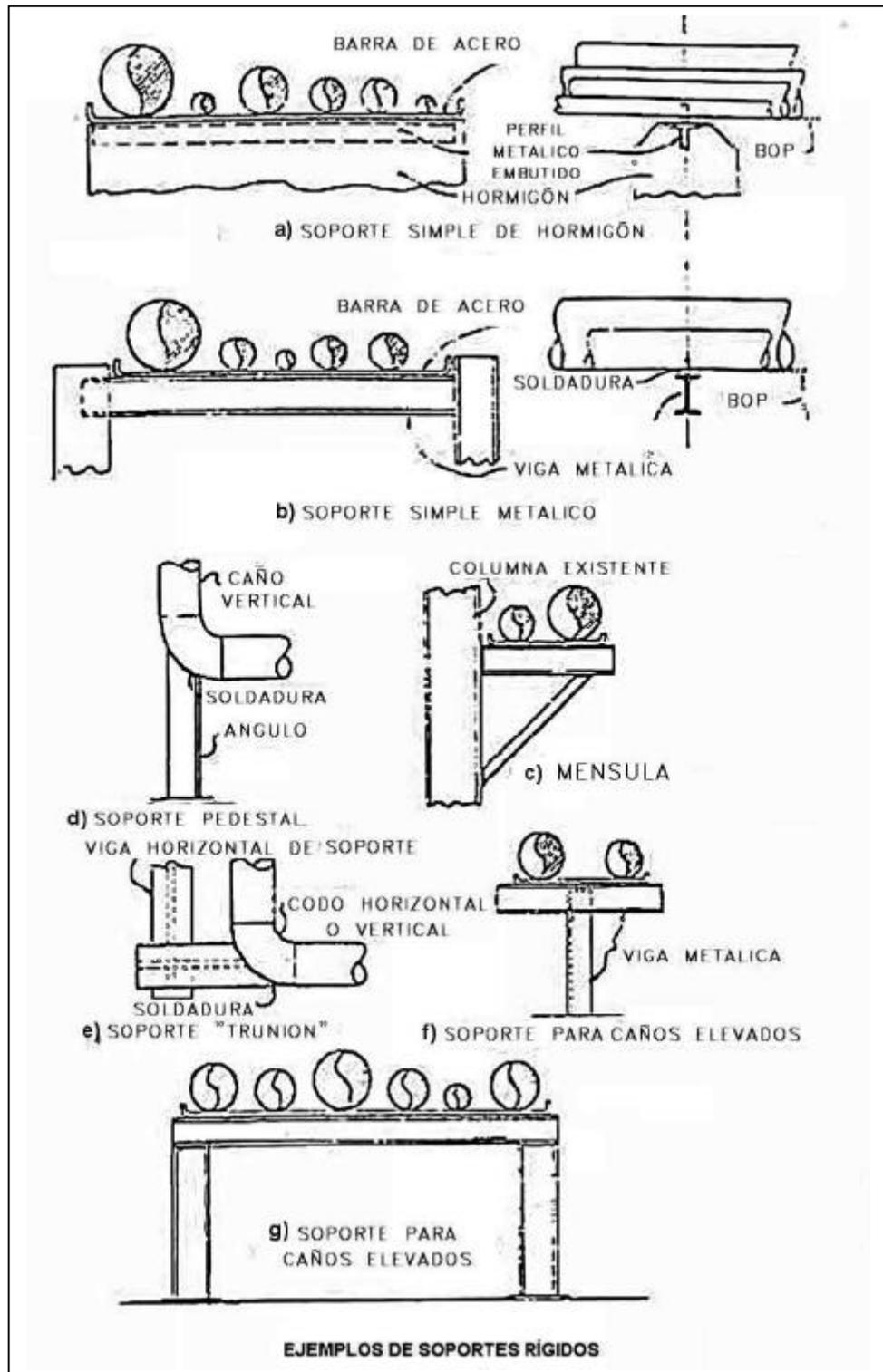
El soporte c) es de pedestal, muy usado para apoyar codos situados en el plano vertical y que también descarga los pesos sobre el piso directamente. El perfil metálico soldado al caño deberá estar preferentemente alineado con el eje vertical del caño.

El soporte d) es una viga en voladizo, transmitiendo el peso sobre algún recipiente o estructura. El e) muestra un modelo llamado "Trunion" muy empleado para soportar codos. Consisten en trozos de perfiles metálicos o de caños soldados al codo de la cañería y apoyados directamente sobre la viga. Las figuras f) y g) muestran modelos de soportes para caños elevados.

Cuando se tienen caños de diámetros muy diferentes, se acostumbra apoyar los caños de menor diámetro sobre los más grandes, por medio de soportes intermedios soldados a los mismos. Este sistema permite espaciar más los apoyos hasta la luz admisible para los caños mayores.

Los soportantes deben tener como mínimo 4 veces el diámetro del mayor de los soportados. Cuando se emplean estos soportes, se deben verificar las tensiones de los caños soportantes, siempre que hubiera dudas sobre la capacidad portante de los mismos.

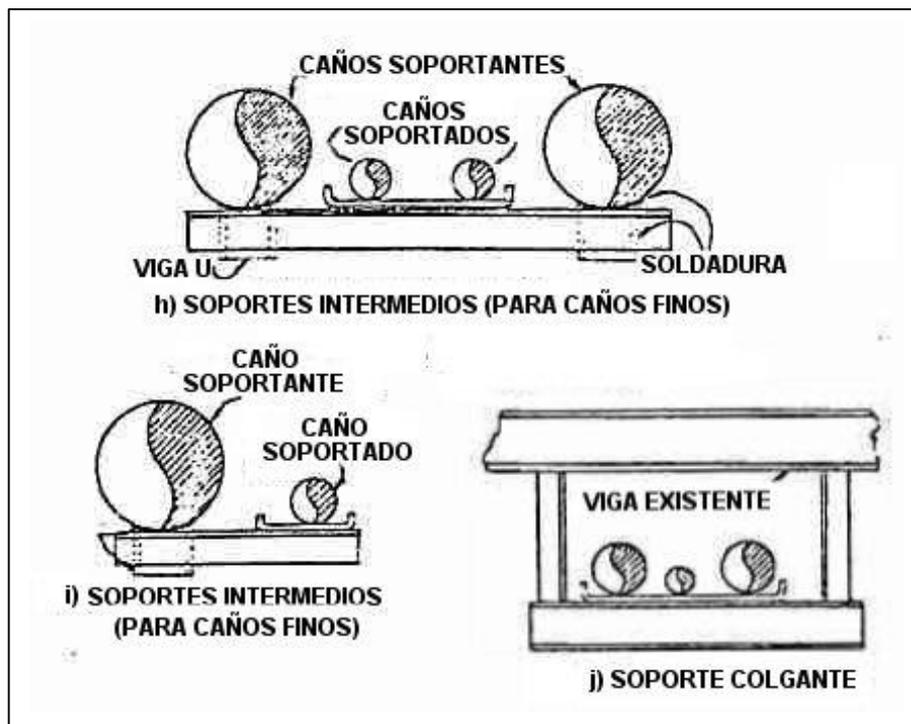
Es importante, cuando hay caños soportados sobre otros como en las siguientes figuras i), h), que no estén rígidamente vinculados para que sea posible el movimiento relativo entre ellos. La figura j) muestra un soporte rígido colgante transmitiendo el peso a una estructura situada sobre los caños.



Contacto entre caños y soportes

Generalmente se trata de evitar el contacto entre los caños y las superficies de apoyo a efectos de permitir la pintura de la cara inferior de los caños y la superficie de los soportes. Uno de los recursos usados para evitar ese contacto es colocar una barra de acero, generalmente de 0 3/4", transversal a los caños, soldado a la superficie metálica del soporte (ver fig.). Esta barra suele doblarse para arriba, de modo de impedir el desplazamiento de los caños, en sentido lateral.

Para caños de gran diámetro (más de 14") o de paredes muy finas, la carga concentrada sobre la barra podría dañar al caño o aún causar su colapso. Se adoptan chapas de refuerzo o cunas para mejor distribución de cargas. Estos refuerzos se sueldan a la pared del caño.

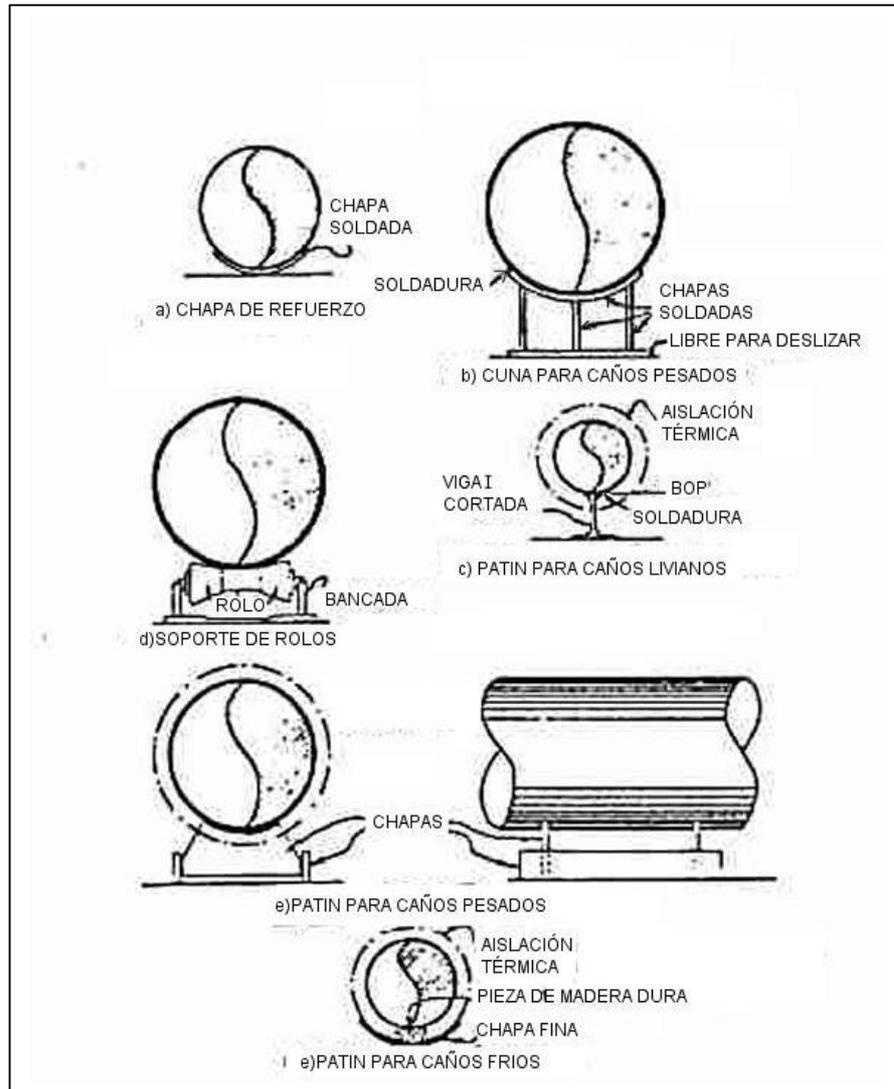


En trechos largos de cañerías pesadas, es conveniente a veces usar soportes de rodillos o rolos, con la doble finalidad de reducir el frotamiento y distribuir las cargas concentradas, facilitando los movimientos de dilatación.

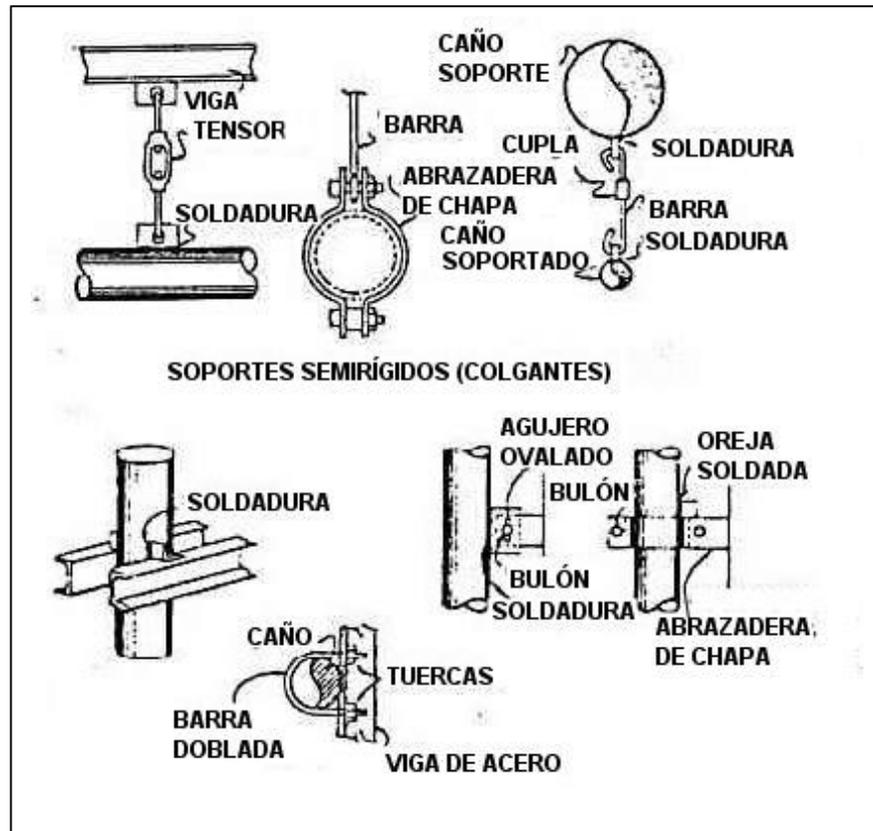
El rozamiento en cañerías pesadas puede reducirse usando placas deslizantes de grafito lubricado entre la chapa del soporte y la superficie donde apoya. Este recurso es simple y no requiere manutención. En ningún caso puede permitirse el apoyo directo de cañerías y sus movimientos dañan la aislación. Se emplean para ellos los patines (fig. a) o las cunas, con una altura de 100 mm. y longitud de 300 a 450 mm. Los patines se usan generalmente de 6" o menores y las cunas para 8" y mayores diámetros. En algunos casos, se usan soportes con patines de madera para bajas temperaturas, que evitan la formación de hielo por condensación.

Soportes Semi-rígidos

Los soportes Semi-rígidos son empleados para caños livianos, dentro de edificios o en áreas de proceso. Estos soportes colgantes dan gran libertad de movimientos y en ellos no hay rozamiento. No deben ser usados para caños sujetos a vibraciones, choques dinámicos, golpes de ariete, etc.

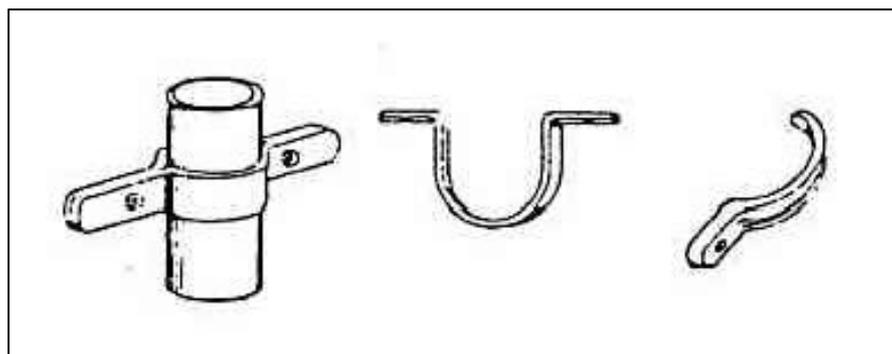


Los soportes colgantes se acostumbra hacerlos de barras de acero y son vinculados a alguna viga o a otro caño, con algún sistema de ajuste, tensores o simplemente un trozo de barra soldada en terreno. Se utilizan también abrazaderas para sujetar la cañería y las barras para caño de 2" son usualmente de 1/2" y de 5/8" ó 3/4" para líneas de mayor diámetro. Los soportes para caños verticales suelen ser orejas soldadas al caño, vinculadas a vigas de igual modo.



Soportes especiales para caños livianos

Para cañerías de 1 1/2" o menores, horizontales o verticales, es muy común emplear accesorios ya fabricados y que se pueden comprar en el comercio, por lo que resultan más económicos.



Existe gran variedad de ellos y la mayoría se construyen con hierro maleable, casi siempre galvanizado, también de hierro fundido y aún de plástico. Algunos vienen provistos con pernos de expansión que se pueden fijar directamente al hormigón o a mampostería.

Soportes no rígidos

Son dispositivos colgantes o soportes flexibles. Son soportes capaces de permitir movimientos verticales en los puntos de apoyo de la cañería, provenientes de la misma o de recipientes.

Los colgantes flexibles se dividen en dos grupos :

- 1.- Resorte Variable
- 2.- Soporte Constante

Existe un tercer grupo llamados de contrapeso. Los de soporte constante proveen una fuerza prácticamente constante a través de todo un intervalo completo de contracción o dilatación vertical de la cañería.

Esto se logra por medio del uso de un resorte helicoidal que trabaja en conjunto con un juego de palancas, de tal modo que la fuerza actuante sobre el resorte multiplicada por el brazo de palanca hasta el punto de pivote es siempre igual a la carga del caño multiplicada por la distancia entre el eje y el punto pivote.

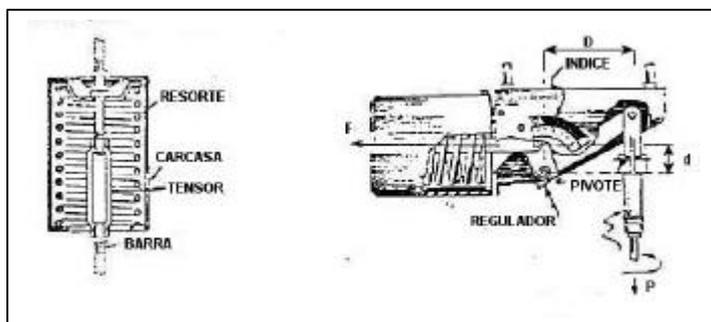
$$F d = P D$$

Debido a su uniformidad en sustentar la carga de la cañería estos soportes son usados donde es deseable prevenir que la carga que actúa sobre el caño (peso) se transfiera a los equipos o soportes adyacentes. Es utilizado para sistemas de cañerías críticos.

Los soportes de resorte variable son usados para sostener cañerías sujetas a movimientos verticales donde no se requieran soportes constantes. La característica inherente al resorte variable es tal que su fuerza portante varía con la deflexión del resorte y se mide en una escala. Por lo tanto, la expansión vertical de la cañería causa la correspondiente expansión o contracción del resorte y origina un cambio en el efecto portante real del soporte.

La variación de la fuerza portante es igual al producto del desplazamiento vertical del resorte por la lectura en la escala del indicador. Siendo el peso de las cañerías igual en cualquier condición, frío o en operación, la variación de la fuerza portante resulta en una transferencia a los equipos y soportes adyacentes y por interacción, tensiones adicionales en el sistema de cañería. Cuando se usan soportes de resorte variables, este efecto debe ser considerado.

Estas tensiones adicionales pueden evaluarse como un $\pm 6\%$ para soportes constantes, usados en líneas principales de vapor, extracción, líneas de turbinas, etc.

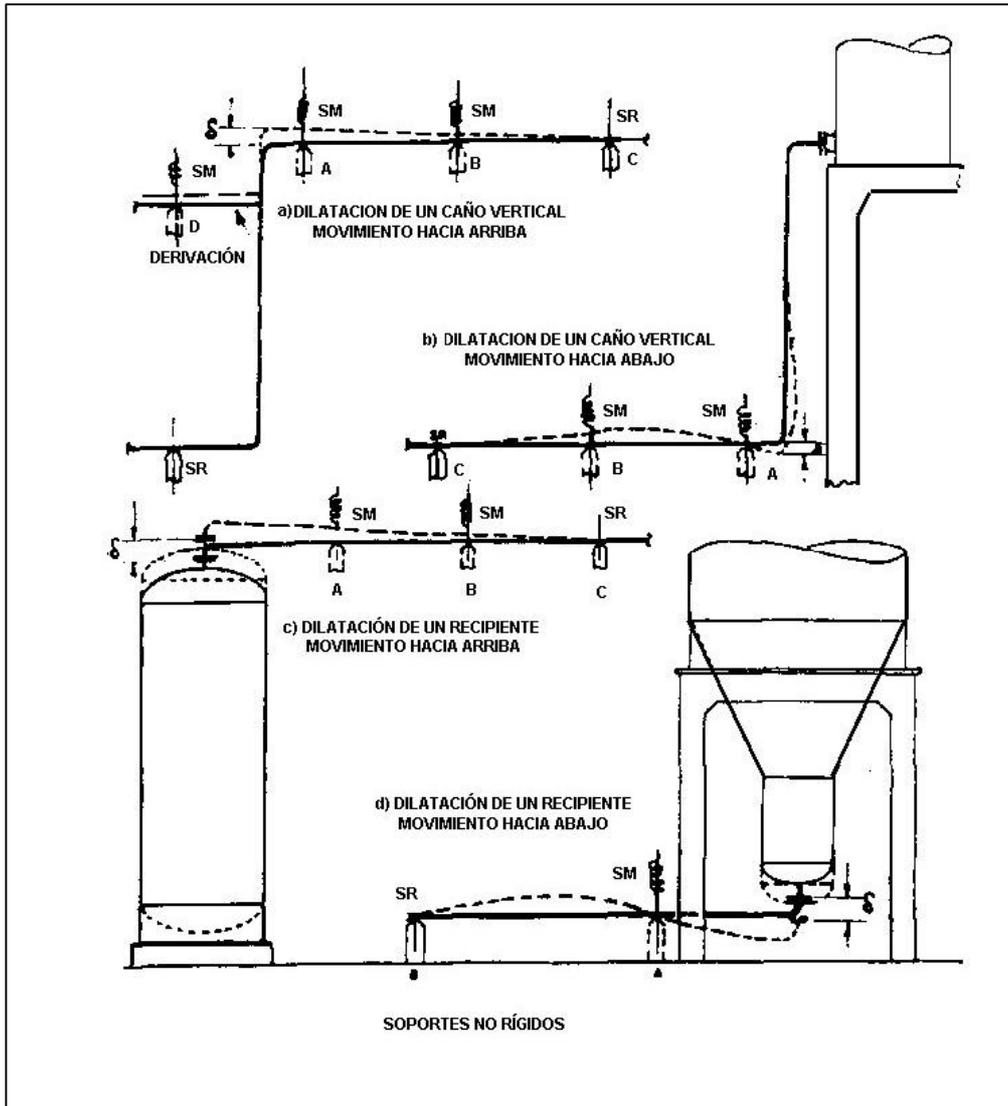


En sistemas no críticos la variación puede tomarse limitada a un 25%. Para todos los sistemas la variación en el cambio de cargas máximo admisible es considerada en los puntos donde se transfiere directamente a conexiones terminales diseñadas para una condición de carga máxima.

Es una buena política de diseño tratar de evitar el uso de soportes elásticos (o de resiliencia).

Aún con este concepto básico, muchas configuraciones de cañerías determinan el uso de estos soportes.

Algunos de estos casos se pueden apreciar en la siguiente figura, donde el movimiento de los recipientes provoca desplazamientos apreciables en las cañerías.



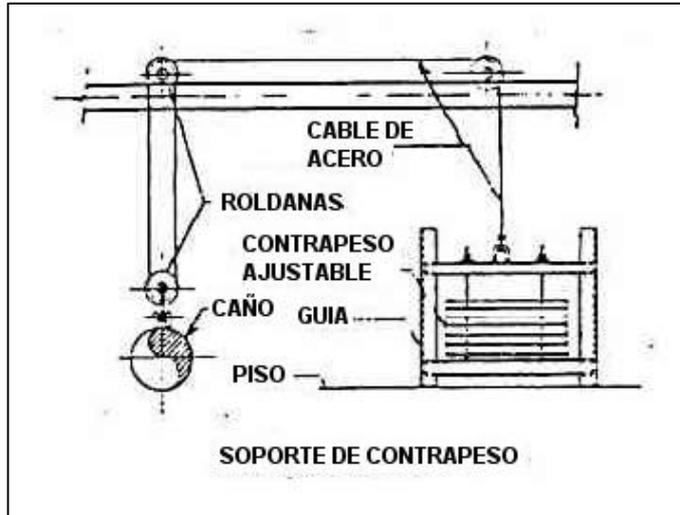
Se fabrican soportes de tensión variable de hasta 15000 Kg. y deflexiones de hasta 200 mm y de tensión constante para carga de 30 t y deflexiones de hasta 400 mm.

En la compra de estos soportes debe especificarse :

- ◆ Tipo de soporte (variable o constante).
- ◆ Capacidad de sustentación (peso de la cañería)
- ◆ Deflexión máxima necesaria (en función del movimiento vertical de la cañería en el punto considerado). Debe ser especificada la dirección del movimiento.
- ◆ Disposición deseada (colgante o soporte)
- ◆ Dimensiones deseadas o necesarias.
- ◆ Ubicación del soporte respecto a la cañería y los demás soportes.
- ◆ Existencia o no de vibraciones.

Soportes de contrapeso

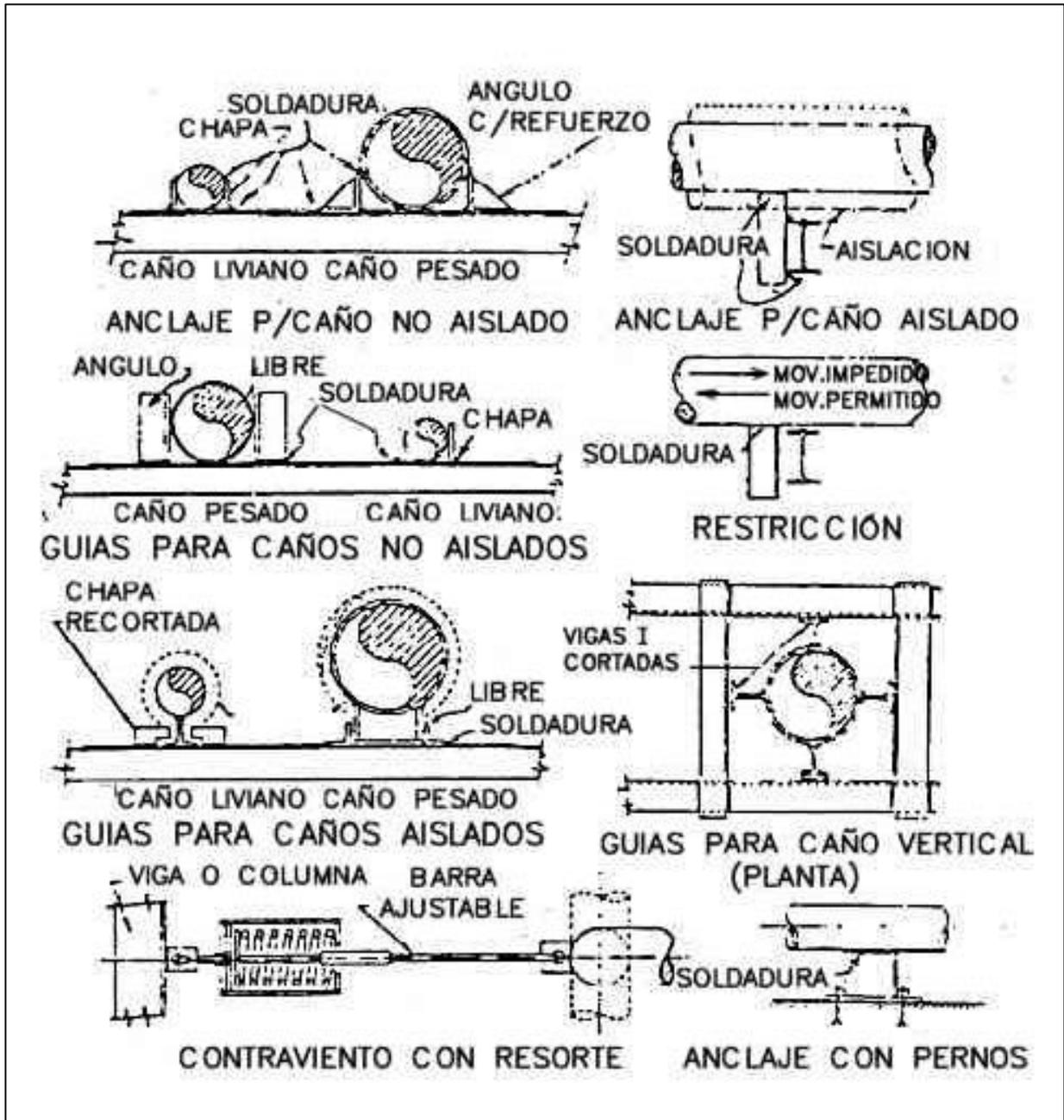
Son aparatos simples, consistiendo, como se muestra en la figura, en un contrapeso asociado a un conjunto de roldanas y cables de acero. Estos soportes dan mucha libertad al caño soportado y tiene una capacidad de soporte rigurosamente constante, porque iguala la carga del contrapeso. Los contrapesos deben tener dispositivos de seguridad, contra caídas y también limitadores de carrera.



Son instalados generalmente a nivel del suelo, por seguridad. Debe tener un peso algo menor que la cañería a soportar. No se deben usar en líneas sujetas a choques y vibraciones.

Soportes que limitan los movimientos de las cañerías

Entre ellos tenemos los anclajes, guías, restricciones y contravientos. Los anclajes impiden todo tipo de movimientos. Las guías permiten sólo movimientos axiales, en la dirección del eje del caño impidiendo los demás.



Las restricciones pueden impedir los movimientos axiales en uno o en los dos sentidos. Los contravientos no deberían ser clasificados como soportes ya que no sustentan pesos sino que impiden movimientos laterales de la cañería. En rigor ninguno de estos soportes son de restricción absoluta de movimientos ya que los transmiten a equipos o estructuras y sus movimientos dependen en última instancia de los ocasionados en éstos.

Desde el punto de vista de la flexibilidad sería ideal que la cañería no tuviese ninguna restricción, o sea, que estuviera totalmente libre, cuando por efecto de la temperatura, sufre dilataciones. Si así fuera no se producirían tensiones en las cañerías pero en la realidad, el rozamiento de las líneas sobre los soportes y la inmovilidad de los equipos a los que están vinculados que constituyen anclajes no permiten que ello suceda.

Las restricciones a movimientos en las cañerías son necesarios porque :

- a) Limitan y dirigen los movimientos causados por dilatación térmica.
- b) Protegen los recipientes y equipos vinculados a la cañería y los puntos más débiles de la misma de los esfuerzos provocados por la dilatación térmica.
- c) Aumentan la capacidad de auto soporte de la línea, permitiendo mayores luces o vanos entre soportes.
- d) Aíslan las vibraciones o aumentan la frecuencia natural de la línea para disminuir la amplitud y evitar resonancias.
- e) Simplifican el comportamiento de sistemas complejos, para el cálculo de dilataciones tornando más fácil el cálculo analítico de flexibilidad.

La limitación y orientación de los movimientos en los caños son necesarios por las siguientes razones :

- a) Evitar interferencias, de modo de evitar que los caños, al dilatar se toquen unos con otros y contra paredes, estructuras o equipos.
- b) Evitar flechas exageradas en el propio caño, por efecto de pandeo o por efecto de una derivación que actúa sobre una línea principal.
- c) Evitar flechas exageradas en caños delgados en derivaciones.
- d) Evitar movimientos laterales o angulares, en juntas de expansión que sólo admiten desplazamientos axiales. Evitar esfuerzos de torsión en estas juntas, que sólo permiten movimientos axiales.
- e) Conducir los desplazamientos en las direcciones previstas por el cálculo de flexibilidad.

La ubicación de los puntos de soporte y fijación de una línea debe hacerse en forma simultánea con el estudio de flexibilidad. Una pequeña modificación en la posición o naturaleza de los puntos fijos puede alterar mucho el valor de las tensiones en la cañería, sus esfuerzos y las reacciones en los equipos.

Las reacciones deberán disminuirse para :

- a) Evitar pérdida de bridas y roscas.
- b) Evitar la transmisión de grandes esfuerzos a los cuerpos de válvulas y equipos, generalmente fabricados en hierro fundido y por ello incapaces de absorber grandes esfuerzos.
- c) Evitar desalineamientos en los ejes vástagos de válvulas, bombas, compresores, turbinas y otras máquinas.

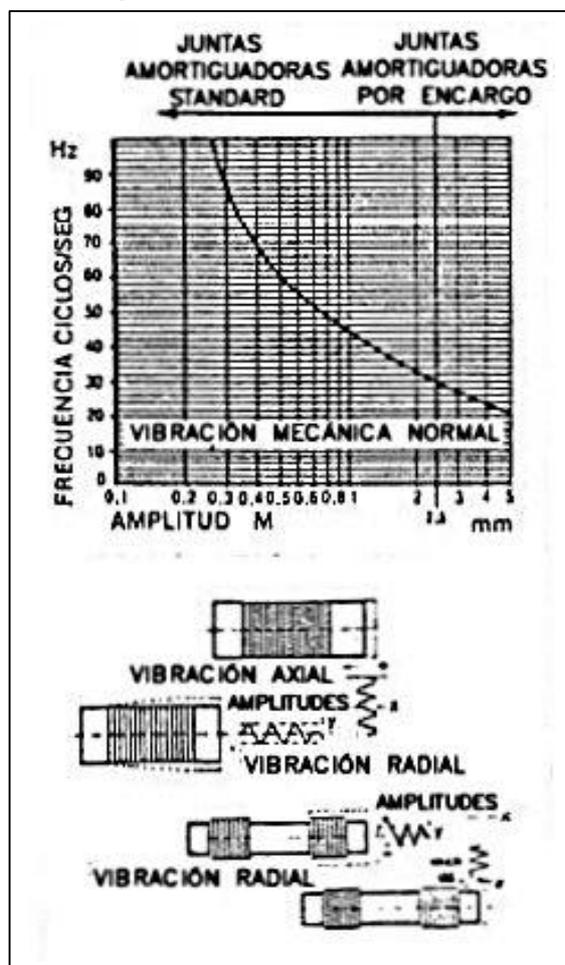
Soportes para cañerías sujetas a vibraciones

Los caños sujetos a vibraciones no las deben transmitir a las estructuras o a otros caños.

Cuando esas vibraciones son de gran amplitud, frecuentemente son necesarios amortiguadores, soportes con resortes y juntas de expansión.

Las juntas de expansión a fuelle metálico pueden ser sin barras de refuerzo para bajas presiones y con barras de refuerzo para mayores presiones.

Pueden ser usadas con simple o doble fuelle, según sea la función que cumpla : absorber vibraciones en sentido axial o lateral. La frecuencia en ciclos / seg y la amplitud en mm., prevista por el fabricante o medida en el equipo, es la base para la elección de la junta. La cantidad de convoluciones, longitud de la junta, necesidad de utilización de barras de refuerzo, se puede determinar por indicación del fabricante de las juntas en sus catálogos.



La amplitud máxima permitida, a modo de ejemplo, puede ser (en mm.)

Ejemplo 1 - Axial $3(\pm 1.5)$ Radial $1(\pm 0.5)$

Ejemplo 2 - Axial $3(\pm 1.5)$ Radial $5(\pm 2.5)$

El primer ejemplo es para juntas de fuelle simple, el segundo para fuelle doble.

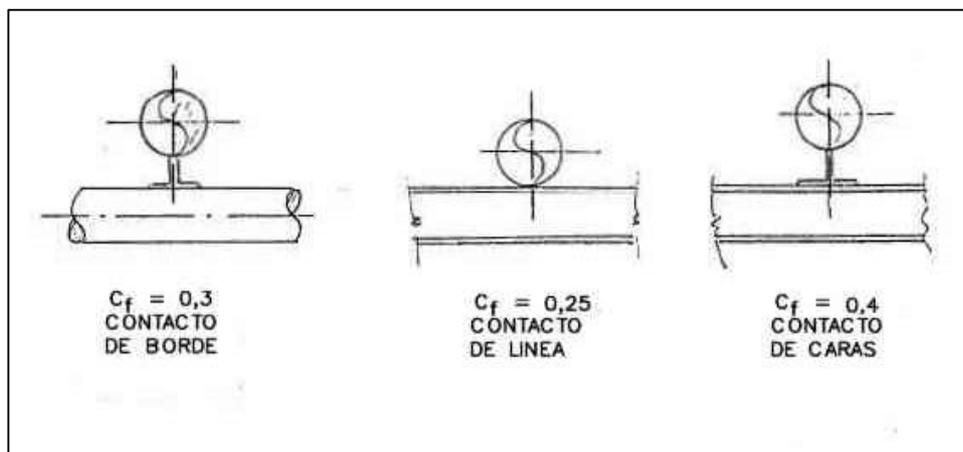
Donde instalar los soportes

Deben ser localizados preferentemente en :

- En tramos rectos de cañerías.
- Próximos a cargas concentradas importantes, como válvulas, equipos, etc. Cuando algún elemento pesado de la línea debe ser soportado en forma directa deben verificarse las tensiones producidas en el mismo equipo por efecto de apoyo.
- Las cañerías que corren paralelas a los recipientes deben estar sujetas al mismo para evitar tensiones provenientes de dilataciones diferenciales entre los caños y el recipiente.
- En curvas de expansión, liras, etc. debe existir un anclaje a cada lado. También en cada uno de los puntos de salida de las áreas de proceso, para evitar la transmisión de esfuerzos desarrollados en cañerías externas a las internas del área y viceversa.
- En tramos rectos de cañerías de pequeño diámetro se deben colocar guías cada 3 ó 4 soportes para mantener el alineamiento y evitar vibraciones. También deben colocarse guías en todos los extremos libres, cerrados con bridas, tapas, etc.
- Todas las cañerías vinculadas a juntas de expansión deben tener guías o dispositivos equivalentes para evitar desplazamientos laterales si estos no son admitidos por la junta.

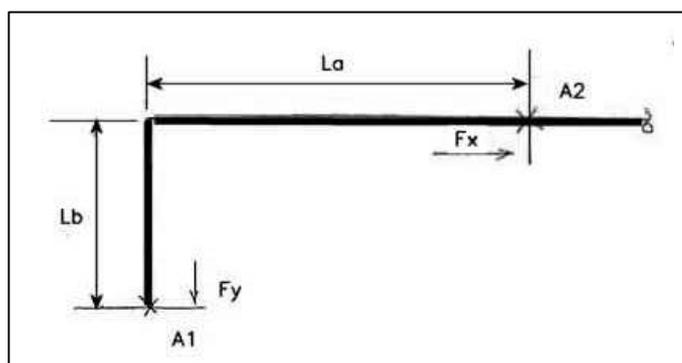
Fuerzas de fricción sobre soportes

Los valores de los coeficientes varían ampliamente, pero se pueden tomar en forma aproximada como :



Se calcula como :

Reacción de fricción [Kg.] = Carga muerta en el punto [Kg.] * Coeficiente de fricción
Determinación de las fuerzas de fricción sobre anclajes



La reacción en **A1** debido a la fricción en **Lb** es **UWL_a**. Considerando el tramo **La** como ménsula con carga distribuida y al tramo **Lb** como proporcional a **La** en **L_b = 3/8 La**.

La fuerza total de fricción en A1 :

$$F_y = UWL_b + 3/8 UWL_a$$

o también

$$F_y = 0.4 WL_b + 0.15 WL_a.$$

De la misma forma :

$$F_x = 0.4 WL_a + 0.15 WL_b.$$

Donde : W = Peso del caño y accesorios + aislación Kg./m

U = Coeficiente de fricción = 0.4

La = Longitud total del tramo "La" en m

Lb = Longitud total del tramo "Lb" en m

A1 y A2 = anclajes

Juntas de expansión

Son elementos no rígidos que se intercalan en las cañerías con el objeto de absorber total o parcialmente las dilataciones provenientes de las variaciones de temperatura o, como ya hemos visto, la propagación de vibraciones.

Las juntas de expansión no son de uso frecuente por su alto costo y por construir un punto vulnerable en la cañería.

Es preferible siempre absorber los desplazamientos de la cañería por medio de un trazado conveniente y por la propia capacidad de la cañería de soportar las tensiones producidas, siempre que éstas sean acotadas dentro de un intervalo admisible.

Los siguientes son los casos en que se justifica usar las juntas de expansión :

- 1.- Cuando el espacio necesario es insuficiente para lograr una cañería que absorba las dilataciones producidas.
- 2.- En cañerías de diámetro muy grande, sobre 20" o de material muy caro, donde existe un interés económico en hacer el trayecto lo más corto posible.
- 3.- Donde por exigencias de proceso, la trayectoria debe ser recta para evitar pérdidas de carga y producción de turbulencias.
- 4.- En cañerías sujetas a vibraciones de gran amplitud.
- 5.- En cañerías vinculadas a equipos delicados o de alta sensibilidad, para evitar la transmisión de esfuerzos de la cañería a los equipos.

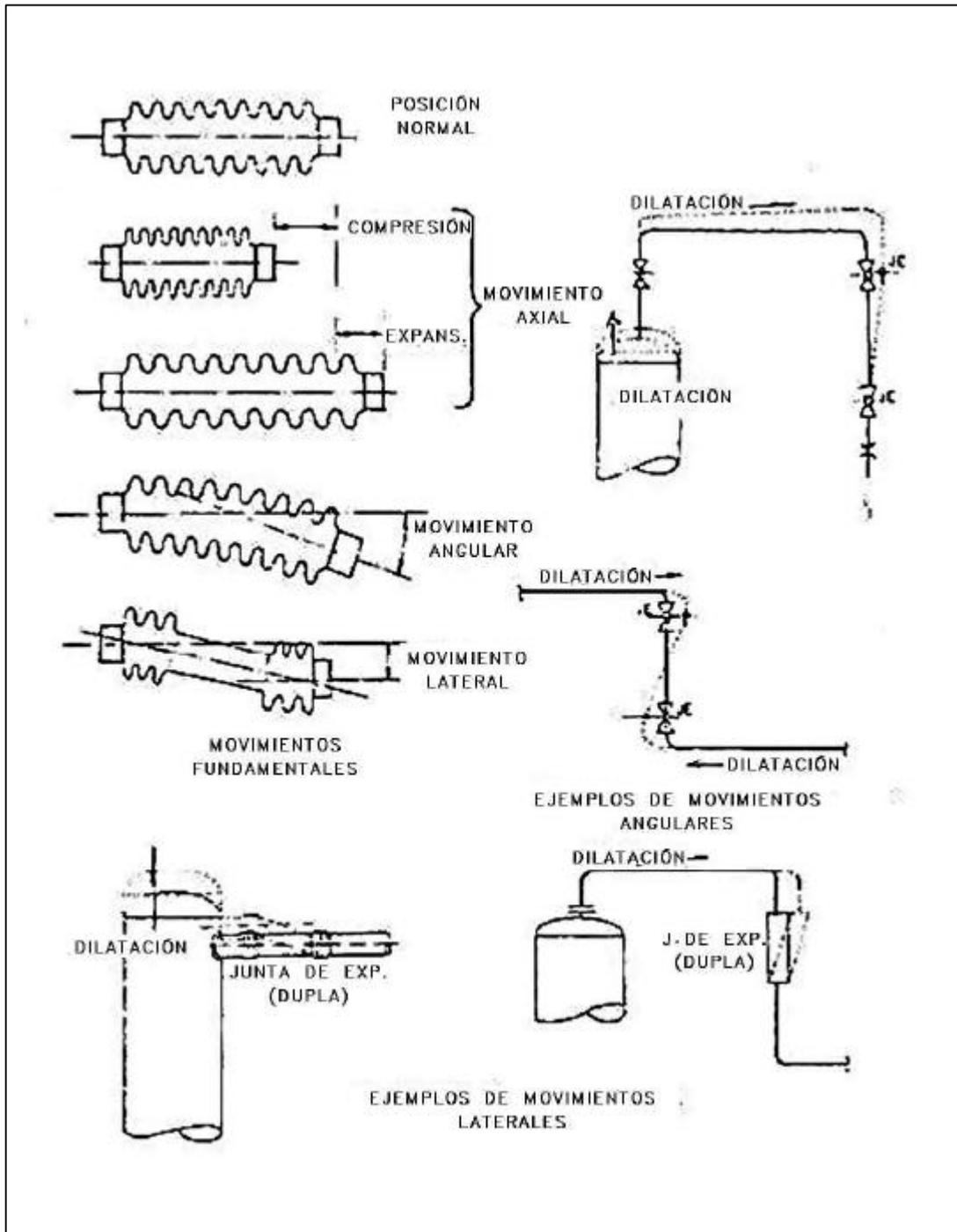
Considerando por un lado la cañería configurada para absorber una dilatación determinada, con la junta de expansión capaz de realizar el mismo trabajo, en la cañería se producen pérdidas de carga y transmisión de calor del orden del 30% por el incremento de longitud necesario. Además debe sumarse el costo de soportes adicionales y aislación, etc.

En contraposición a estas ventajas, la junta de expansión es más cara que la cañería y constituye un punto débil, sujeto a defectos, a mayor desgaste, pudiendo dar origen a accidentes con necesidad de mantenimiento, inspección periódica etc.

A ello se debe su uso restringido.

La mayoría de las juntas de expansión se hacen por encargo para cada caso específico. Para ello es necesario proveer al fabricante de los siguientes datos, como mínimo :

- ◆ Naturaleza de los fluidos conducidos.
- ◆ Presión y temperatura de trabajo, variaciones posibles y duración de las mismas.
- ◆ Tipo de junta deseada. Material del fuelle (metálico o no metálico) con camisa interna o no, etc.
- ◆ Diámetro de la cañería y tipo de unión (roscada, bridada, soldada).
- ◆ Material de la cañería y tipo de servicio (si existe erosión, corrosión, abrasión) y tipo de aislación, si hubiera.
- ◆ Posición de trabajo de la junta (vertical - horizontal).
- ◆ Cargas que actúan sobre la junta y dimensiones máximas disponibles.
- ◆ Valores de movimiento axial, angular, lateral o combinación de éstos, a absorber por la junta.
- ◆ Condiciones cíclicas y vibraciones, si las hubiera.
- ◆ Normas, códigos o especificaciones que deben ser obedecidas para la fabricación de la junta.
- ◆ Esquemas de la cañería donde está instalada la junta mostrando el sistema de soportes propuesto.



TEMA 8

Cañerías no Metálicas

CONTENIDO

Cañerías no metálicas	2
Polietilenos de alta densidad	2
Métodos de unión en cañerías de Polietileno.	3
Accesorios	3
Cálculos hidráulicos y estructurales.	4
Cañerías de PVC y CPVC	4
Resistencia Química	5
Resistencia y propiedades físicas del PVC Tipo I grado I clasificación 1114.	5
Cañerías De Poliester Reforzado (RTR-Reinforced Thermosetting Resin)	6
Materias primas y forma de construcción	6
Resinas Termoendurecibles	7
Laminado Estructural	7
Terminación Exterior	7
Cálculo del espesor de pared (ANSI B31.3)	7

Cañerías no metálicas

Las cañerías no metálicas están reguladas por la norma ANSI B31.3 capítulo VII cuando sea aplicable o sus similares para distintos tipos de Plantas Industriales.

En las consideraciones principales que deben observarse en el diseño de estos tipos de cañerías, la norma menciona :

- a) Tensiones de tracción, compresión, flexión y corte, módulo de elasticidad para la temperatura de diseño, a corto y largo plazo.
- b) "creep rate" en condiciones de diseño.
- c) tensiones de diseño y sus bases.
- d) Ductilidad y plasticidad.
- e) propiedades en choque térmico e impacto.
- f) Límites de temperatura.
- g) temperatura de transición : fusión y vaporización.
- h) porosidad y permeabilidad.
- i) métodos de prueba.
- j) métodos para efectuar uniones y su eficiencia.
- k) posibilidad de deterioro en servicio.

Entre los materiales no metálicos que menciona el código en el par. A326.1 consideraremos aquellos de uso más frecuente en la industria de proceso y minería.

Polietilenos de alta densidad

O llamados HDPE, dentro de los cuales veremos el Polipropileno (PP), Polifluoruro de Vinileno (PVDF), Policloruro de Vinileno (PVDC).

Son polietilenos de alto peso molecular. Estos se fabrican polimerizando el etileno con el sistema de baja presión.

Tienen muy buenas propiedades de resistencia al ataque químico. Son insolubles a todos los solventes orgánicos e inorgánicos, y sólo son atacados a temperatura ambiente y en el transcurso del tiempo por el H₂SO₄ concentrado, el HNO₃ concentrado y agua regia. Los halógenos en estado libre, cloro, bromo, etc., a temperatura ambiente forman polietileno halogenado, con desprendimiento de haluro de hidrógeno. La estructura del material no queda destruida pero cambian las propiedades físicas y químicas.

Otros elementos que no deben ser transportados en estas cañerías son el tetracloruro de carbono, disulfuro de carbono, cloroformo, flúor, ozono, trióxido de azufre, cloruro de thionil, tolueno, xileno y tricloroetileno.

La permeabilidad es muy baja para los gases, la temperatura de trabajo oscila entre -40 °C a 60 °C, en algunos casos hasta 80 °C.

La resistencia a la tracción es de 22 N/mm² (220 Kg./cm²) y a la rotura de 32 N/mm².

Estas tensiones van disminuyendo con el tiempo, de modo que el envejecimiento de las cañerías de polietileno tienen un factor de seguridad que afecta la fórmula con que se calculan las tensiones o el valor de su espesor.

Se fabrican por series de presión, que en cierta medida los clasifican como a las cañerías metálicas por schedule. Son estas las Presiones Nominales PN 2.5, PN 3.2, PN4, PN6, PN10, y PN16 en caso de seguir las normas DIN8074.

Para el dimensionamiento según ANSI, se utiliza

$$t = \frac{P D}{2 s + P}$$

donde :

t = espesor para la presión de diseño

p = presión manométrica de diseño

D = diámetro exterior del caño

S = tensión admisible

Muchos fabricantes optan por las fórmulas alemanas, según DIN:

$$t = \frac{P N (D - S)}{2 S}$$

donde :

PN = presión de trabajo en [Kg/cm²]

D = diámetro exterior del caño (mm)

S = espesor del caño(mm)

T = tensión del material Kg/cm².

La tensión admisible del material se ha calculado como 5 N/mm² es decir, 50 Kg/cm², para una temperatura de 20 °C y una vida útil de 50 años y un factor de seguridad de 1.9.

Métodos de unión en cañerías de Polietileno.

Las cañerías de polietileno reforzado se sueldan sin material de aporte por medio de aparatos diseñados para tal fin. Uno de ellos es el que responde a la norma DIN 16932. Se rectifican los extremos del caño, con cuchillos rectificadores. Luego se enfrentan los extremos tomados por mordazas que se presionan por medio de sistema hidráulico. La desviación máxima admisible de 0.5 mm.

Luego se coloca un elemento calefactor hasta lograr en este una temperatura de 220 °C ± 10 °C. Al fusionarse los extremos se produce la unión, luego de un tiempo que es función del espesor y que varía de 30 - 40 segundos para 2 - 3.9 mm hasta 210 - 250 segundos para 28.3 - 32.3 mm. La presión se aplica en forma lenta (entre 4 y 40 segundos según sea el espesor) y llega a 1.5 a 2 Kg/cm².

La altura del cordón de soldadura varía de 0.5 mm hasta 1.5 mm.

Accesorios

Las bridas de cuello soldable se utilizan según ANSI B16.5 y también pernos, pero son muy utilizadas las bridas anillos con cuellos soldables tipo Lap-Joint y bridas anillo.

Los accesorios roscados son muy utilizados para cañerías de menos tamaño (1/2" a 3/4").

Codos segmentados, reducciones, curva 3D etc son también utilizados según las normas para cañerías de acero.

Cálculos hidráulicos y estructurales.

Siendo la superficie interna de estas cañerías más lisas que las de acero, su coeficiente de fricción o de Darcy es de 0.007 (en lugar de 0.015 para caños de acero nuevos). Esto hace bajar la pérdida de carga en los caños HDPE a menores valores para las mismas condiciones de flujo.

Las fórmulas y metodología de cálculo son las mismas que en las cañerías de acero.

Las cañerías de polietileno no tienen altas temperaturas porque su rango es más restringido. Cuentan además con mayor flexibilidad y en su mayor parte son enterradas de modo que los problemas de soportes no son los preponderantes.

Son de importancia las verificaciones por cargas vivas y peso de material de relleno en las cañerías enterradas, que pueden realizarse por las fórmulas y criterios de Spangler (según vimos en el tema 4) para cañerías elásticas tomando los valores de tensiones de diseño apropiadas.

Cañerías de PVC y CPVC

Existen cuatro tipos de PVC, que a su vez tienen diferentes grados. El tipo I tiene excelente resistencia a la tracción y buena resistencia química aunque su resistencia al impacto es menor que la del tipo II que no tiene tan buena resistencia a la tracción y a los agentes químicos como el tipo I pero tiene mejor resistencia al impacto.

De estas variedades, el que reúne las características físicas y químicas más apropiadas para la fabricación de cañerías para conducción de fluidos es el Tipo I grado I.

Para la mejor identificación de las variedades del PVC, se les ha dado una clave compuesta de 4 números. El primer número se refiere al tipo de PVC, el segundo número al grado del mismo, el tercero y cuarto se refieren al esfuerzo de diseño empleado, dividido por 10. Así tenemos que el PVC 1114 es el Tipo I grado I con tensión de diseño de 140 Kg./cm².

Las ventajas económicas y técnicas del PVC son :

- ◆ Gran resistencia a la corrosión
- ◆ Alta resistencia química
- ◆ Alta resistencia al envejecimiento
- ◆ Bajo coeficiente de elasticidad
- ◆ Bajo coeficiente de fricción
- ◆ Bajo peso
- ◆ Facilidad de instalación
- ◆ Gran resistencia al golpe de ariete

Como todos los materiales el PVC tiene sus limitaciones :

- a) A temperaturas cercanas o inferiores a 0 °C su resistencia al impacto se reduce.
- b) Para conducción de fluidos a presión y a temperaturas mayores de 25 °C debe aplicarse un factor para reducir la presión máxima de trabajo o aumentar el espesor de la pared del caño.
- c) La cañería de PVC Tipo I grado I no debe quedar expuesta a los rayos solares por periodos prolongados, ya que estos pueden afectar ciertas propiedades mecánicas del caño.

Se emplean extensamente en instalaciones hidráulicas, distribución y conducción de agua, instalaciones eléctricas como protector de cables, conducción de fluidos corrosivos, gas natural y LPG.

Resistencia Química

El PVC es altamente resistente al ataque químico de suelos agresivos, de aguas conducidas y en general de ácidos, álcalis y soluciones salinas. Al PVC no lo afecta el agua y absorbe solamente 0.1 a 0.4% de su peso después de una inmersión de 48 horas. Se ha demostrado que el ataque de algas, hongos, bacterias, carece de importancia por no haber material nutriente en el PVC.

Resistencia y propiedades físicas del PVC Tipo I grado I clasificación 1114.

Característica	Valor	método de prueba ASTM
Densidad	1.4 g/cm ³	
Resistencia mínima al impacto -120d	3.55 cm/Kgf/cm	D-256-73
Resistencia a la tracción	492 Kg/cm ²	D-638-76
Temperatura mínima de deflexión	70 °C	D-648-72
Módulo de elasticidad	2.81*10 Kg/cm ²	D-638-76
Dilatación lineal	0.08 mm/m/°C de Δt°	

Los cálculos para el espesor de pared son los mismos que utiliza ANSI para HDPE.

Las presiones nominales se clasifican en 1, 6, 10 y 16 Kg/cm². Los PVC clorados, CPVC son polivinilos que tienen en general las mismas características que los no clorados pero su resistencia se amplía en un rango de temperatura mayor.

Máxima Temperatura de trabajo :
PVC = 70 °C, CPVC = 90 °C

Acoplamientos :

Los acoplamientos en las cañerías de PVC empleadas para la conducción de agua son :

- 1.- Unión espiga campana con anillo de elastómero.
- 2.- Unión pegada con cemento solvente.

Los cálculos hidráulicos vistos ya para HDPE son válidos para PVC. Lo mismo para los cálculos estructurales.

Cañerías De Poliester Reforzado (RTR-Reinforced Thermosetting Resin)

Son cañerías fabricadas con resinas termroendurecibles reforzadas con fibra de vidrio. La estructura compuesta de este material puede tener agregado granular o cargas de plaquetas, agentes tixotrópicos y pigmentos.

Los caños RTR tienen las siguientes características :

- ◆ Alta resistencia. Dependiendo del método de fabricación, la resistencia a la tracción puede igualar o sobrepasar a la del acero. Sobre las base de relación resistencia /peso, las propiedades superan a las del acero.
- ◆ Resistencia a la corrosión : Las cañerías RTR son resistentes a la corrosión externa e interna para la mayoría de las aplicaciones de transporte de fluidos, por tanto, no se requieren revestimientos exteriores o barreras químicas adicionales. La resina se selecciona conforme al tipo de agente químico, siendo posible cubrir el 80% de los compuestos químicos conocidos en la actualidad.
- ◆ Costo nulo de mantenimiento. Siempre que se proteja de la acción de agentes ambientales (acción de rayos ultravioletas).
- ◆ Bajo Peso. A igual servicio constituyen el 15% del peso del acero, 5% de hormigón y 35% de las de polietileno.
- ◆ Mayor temperatura de trabajo que los otros plásticos con un máximo de 130_C.

Materias primas y forma de construcción

La parte interna de la cañería se hace con una capa de resina, con reactivos que la hacen trabajar como "barrera química". Consiste en una capa rica en resina, reforzada con un velo de superficie, de 0.25 a 0.5 mm. de espesor. El resto de la barrera química se construye mediante el proceso de aspersion. El material se proyecta, fibra y resina, sobre el molde, a temperatura.

Su elección depende de la naturaleza del fluido y su temperatura de trabajo y su costo. El espesor final es de 0.5 a 2.5 mm. La capa intermedia de fibra de vidrio, puede ser :

- ◆ Unidireccional (roving). Laminados realizados con fibra unidireccional pueden lograr un contenido de hasta un 80% de refuerzo en relación al peso, alcanzando alta resistencia.
- ◆ Bidireccional(tela roving). Este tipo de refuerzo permite fabricar laminados que poseen propiedades ortotrópicas. Se alcanzan porcentajes de fibra de hasta un 65% en peso.
- ◆ Multidireccional (Mat). Esta distribución proporciona propiedades isotrópicas y resistencia inferiores a las que se obtienen con los otros tipos de refuerzo. Se pueden lograr entre 10% y un 45% de refuerzo en peso.

Hay distintos tipos de refuerzos de fibra de vidrio según deban ser utilizados :

- ◆ de resistencia eléctrica(E),
- ◆ para ambiente ácido (E-CR),
- ◆ de resistencia química (C),
- ◆ de alta resistencia mecánica (S) y
- ◆ de resistencia alcalina (AR).

Resinas Termoendurecibles

Las más usadas son las termoendurecibles que pueden ser del tipo poliéster o epóxicas. Las poliéster se usan para grandes diámetros y las epóxicas para diámetros pequeños.

Estas resinas son curadas por calor o por aditivos químicos. Una vez curadas, las resinas son principalmente infusibles (no pueden volver a fundirse) e insolubles.

Laminado Estructural

La parte estructural de la cañería se fabrica con el método "Filament Winding" (enrollado de filamentos) que consiste en impregnar un número de fibras de vidrio de refuerzo en resina, entallado a continuación de las fibras humedecidas en un molde cilíndrico bajo tensión controlada, en una trayectoria helicoidal preestablecida. Luego de un número de ciclos se forma una capa de espesor uniforme.

Terminación Exterior

El exterior de la cañería se protege con una capa de resina, de espesor 0.1 a 0.2 mm., que contiene filtro de rayos Ultravioleta y una solución de cera parafinada. Este último elemento asegura un curado adecuado de la superficie exterior, evitando a la vez que ésta superficie quede pegajosa.

Cálculo del espesor de pared (ANSI B31.3)

Los RTR laminados se calculan por :

$$t = \frac{P D}{2 S + P}$$

Los RTR Filament Wound se calculan por :

$$t = \frac{P D}{2 S F + P}$$

donde :

F es un factor de servicio

Para servicios cíclicos **F = 1**

Para servicios estáticos **F = 0.5**

**CAÑERIAS
INDUSTRIALES
(PIPING)**

APENDICE A
Tablas de Presión - Temperatura para Cañerías
Dimensiones - Lista de Normas

NOTES FOR PRESSURE-TEMPERATURE TABLES

Steel valves, flanges, fittings, and unions are classified by either the Primary Rating or the Cold Working Pressure Rating depending on the type of product. The Primary Rating is a pressure rating established by standards and accepted practice at elevated temperature. The Cold Working Pressure Rating is the rating at ambient temperature (from 20 F. to 100 F.). This rating is referred to as CWP (Cold Working Pressure) Rating.

Products suitable for general service applications including elevated temperatures and ANSI Standard Flanges and flanged products are classified by the Primary Rating. Primary Ratings in the accompanying tables are in bold-face type. Valves normally suitable for service at elevated temperatures, such as hydraulic and refrigeration valves, are classified by the Cold Working Pressure Rating. Threaded and socket weld fittings and flanges are also classified by the Cold Working Pressure Rating although they are suitable for service at elevated temperatures. The pressure-temperature tables should be consulted to select the proper class of product required to meet the pressure and temperature conditions of the intended service.

These ratings apply to the pressure retaining portion of any product, but for a valve, special consideration of the service conditions should be given to the selection of such items as the valve trim, gasket, and packing to ensure that the proper material is merited in other respects.

All ratings are the maximum allowable non-shock pressures (psig) at the tabulated temperatures (F). The allowable pressure may be interpolated between temperatures shown. For rating purposes the temperature is assumed to be that of the contained fluid. Use of a pressure rating at a material temperature other than that of the contained fluid is the responsibility of the user and subject to the requirements of any applicable codes.

For flanged products the use of these ratings requires gaskets conforming to the requirements of ANSI B16.5. The user is responsible for selecting gaskets of dimensions and materials to withstand the required bolt loading without injurious crushing, and suitable for the service conditions in all other respects.

Where welded construction is used, consideration should be given to the possibility of graphite formation in carbon steel above 775 F.

Consideration should be given to the possibility of excessive oxidation (scaling) on 1 Cr.—1/2 Mo., 1 1/4 Cr.—1/2 Mo. and 2 1/4 Cr.—1 Mo. steel above 1050 F. and 5 Cr.—1/2 Mo. steel above 1100 F.

Data on this page extracted from ANSI Standard Steel Pipe Flanges and Flanged Fittings (ANSI B16.5) with the permission of the publisher, The American Society of Mechanical Engineers, 345 East 47th Street, New York, N. Y. 10017.

PRESSURE-TEMPERATURE RATINGS

FOR THREADED AND SOCKET WELD END VALVES

Primary Pressure	600-800					1500					1700-2500		
	Service Temperature Degree F.	Carbon Steel	1/4 Cr. 1/2 Mo. A-182 Gr. F11	5 Cr. 1/2 Mo. A-182 Grade F5	A-182 Grade F-304	A-182 Grade F-316	Carbon Steel	1/4 Cr. 1/2 Mo. A-182 Gr. F11	5 Cr. 1/2 Mo. A-182 Grade F5	A-182 Grade F-304	A-182 Grade F-316	Carbon Steel	1/4 Cr. 1/2 Mo. A-182 Gr. F11
—20 to 100	2000	2000	2000	1715	2000	3600	3600	3600	3085	3600	6700	6700	6700
150	1970	1970	1970	1615	1970	3550	3550	3550	2915	3550	6700	6700	6700
200	1940	1940	1940	1520	1940	3500	3500	3500	2740	3500	6700	6700	6700
250	1915	1915	1915	1445	1915	3450	3450	3450	2605	3450	6700	6700	6700
300	1895	1895	1895	1370	1895	3415	3415	3415	2470	3415	6700	6700	6700
350	1875	1875	1875	1310	1875	3375	3375	3375	2360	3375	6700	6700	6700
400	1850	1850	1850	1245	1850	3330	3330	3330	2245	3330	6700	6700	6700
450	1810	1810	1810	1195	1810	3255	3255	3255	2150	3255	6700	6700	6700
500	1735	1735	1735	1140	1735	3125	3125	3125	2055	3125	6700	6700	6700
550	1640	1640	1640	1100	1640	2955	2955	2955	1985	2955	6700	6700	6700
600	1540	1540	1540	1060	1540	2770	2770	2770	1910	2770	6700	6700	6700
650	1430	1430	1430	1020	1430	2580	2580	2580	1845	2580	6700	6415	6700
700	1305	1340	1340	985	1370	2350	2415	2415	1775	2465	6340	6170	6700
750	1180	1245	1245	950	1305	2125	2250	2250	1710	2355	5630	5920	6700
800	1015	1155	1155	915	1240	1830	2080	2080	1645	2240	4580	5730	6700
850	800 ⁽¹⁾	1060	1060	885	1180	1500 ⁽¹⁾	1915	1915	1595	2125	2980 ⁽¹⁾	5500	6110
875	725 ⁽¹⁾	1015	1015	870	1145	1305 ⁽¹⁾	1830	1830	1570	2070	.....	5250	5725
900	600 ⁽¹⁾	970	970	860	1115	1115 ⁽¹⁾	1750	1750	1545	2010	.....	5005	5345
925	520 ⁽¹⁾	925	925	850	1085	945 ⁽¹⁾	1665	1665	1535	1955	.....	4680	4855
950	425 ⁽¹⁾	880	880	845	1055	770 ⁽¹⁾	1585	1585	1525	1900	.....	4365	4365
975	330 ⁽¹⁾	800	800	840	1020	600 ⁽¹⁾	1500	1500	1510	1840	.....	3590	3860
1000	235 ⁽¹⁾	740	695	800	990	430 ⁽¹⁾	1335	1250	1500	1785	.....	2820	3360
1025	.....	630 ⁽¹⁾	595	820	960	.....	1140 ⁽¹⁾	1070	1485	1725	.....	2260 ⁽¹⁾	2930
1050	.....	520 ⁽¹⁾	495	810	925	.....	945 ⁽¹⁾	890	1455	1670	.....	1700 ⁽¹⁾	2500
1075	.....	450 ⁽¹⁾	605	760	895	.....	815 ⁽¹⁾	730	1370	1615	.....	1495 ⁽¹⁾	2155 ⁽¹⁾
1100	.....	380 ⁽¹⁾	470	715	865	.....	685 ⁽¹⁾	565	1285	1555	.....	1290 ⁽¹⁾	1810 ⁽¹⁾
1125	.....	310 ⁽¹⁾	390	630	800	.....	555 ⁽¹⁾	470	1135	1500	.....	.....	1550 ⁽¹⁾
1150	.....	235 ⁽¹⁾	315	545	780	.....	430 ⁽¹⁾	375	985	1455	.....	.....	1290 ⁽¹⁾
1175	.....	175 ⁽¹⁾	265	485	725	.....	315 ⁽¹⁾	315	880	1310	.....	.....	1075 ⁽¹⁾
1200	.....	115 ⁽¹⁾	215	425	645	.....	205 ⁽¹⁾	255	770	1165	.....	.....	860 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ A product used under the jurisdiction of the ASME Boiler and Vessel Code or the ANSI Code for Pressure Piping is subject to any limitation of that code. This includes any maximum temperature limitation for a material or a code rule governing the use of a material at a low temperature.

PRESSURE-TEMPERATURE RATINGS

**FOR ANSI STANDARD FLANGES AND FLANGED
AND BUTT WELD END VALVES**

Primary Pressure	150		300		400				600				
	Carbon Steel	Carbon Steel	Carbon Steel	1 1/4 Cr. 1/2 Mo. A-182 Gr. F11	5 Cr. 1/2 Mo. A-182 Grade F5	A-182 Grade F-304	A-182 Grade F-316	Carbon Steel	1 1/4 Cr. 1/2 Mo. A-182 Gr. F11	5 Cr. 1/2 Mo. A-182 Grade F5	A-182 Grade F-304	A-182 Grade F-316	
-20 to 100	275	720	960	960	960	825	960	1440	1440	1440	1235	1440	144
150	255	710	945	945	945	775	945	1420	1420	1420	1165	1420	142
200	240	700	930	930	930	730	930	1400	1400	1400	1095	1400	1400
250	225	690	920	920	920	695	920	1380	1380	1380	1040	1380	1380
300	210	680	910	910	910	660	910	1365	1365	1365	985	1365	1365
350	195	675	900	900	900	630	900	1350	1350	1350	945	1350	1350
400	180	665	890	890	890	600	890	1330	1330	1330	900	1330	1330
450	165	650	870	870	870	575	870	1305	1305	1305	860	1305	1305
500	150	625	835	835	835	550	835	1250	1250	1250	825	1250	1250
550	140	590	790	790	790	530	790	1180	1180	1180	795	1180	1180
600	130	555	740	740	740	510	740	1110	1110	1110	765	1110	1110
650	120	515	690	690	690	490	690	1030	1030	1030	735	1030	1030
700	110	470	635	645	645	475	660	940	965	965	710	985	985
750	100	425	575	600	600	455	625	850	900	900	685	940	940
800	92	365	490	555	555	440	595	730	835	835	660	895	895
850	82 (1)	300 (1)	400 (1)	510	510	425	565	600 (1)	765	765	640	850	850
875	75 (1)	260 (1)	350 (1)	490	490	420	550	525 (1)	735	735	630	825	825
900	70 (1)	225 (1)	295 (1)	465	465	415	535	445 (1)	700	700	620	805	805
925	60 (1)	190 (1)	250 (1)	445	445	410	520	375 (1)	665	665	615	780	780
950	55 (1)	155 (1)	205 (1)	420	420	405	505	310 (1)	635	635	610	760	760
975	50 (1)	120 (1)	160 (1)	400	400	405	490	240 (1)	600	600	605	735	735
1000	40 (1)	85 (1)	115 (1)	355	335	400	475	170 (1)	535	500	600	715	715
1025	.....	.....	.....	305 (1)	285	395	460	.....	455 (1)	430	595	690	690
1050	.....	.....	.....	250 (1)	240	390	445	.....	375 (1)	355	585	670	670
1075	.....	.....	.....	215 (1)	195	365	430	.....	325 (1)	290	550	645	645
1100	.....	.....	.....	185 (1)	150	345	415	.....	275 (1)	225	515	625	625
1125	.....	.....	.....	150 (1)	125	305	400	.....	225 (1)	190	455	600	600
1150	.....	.....	.....	115 (1)	100	265	390	.....	170 (1)	150	395	585	585
1175	.....	.....	.....	85 (1)	85	235	350	.....	125 (1)	125	350	525	525
1200	.....	.....	.....	55 (1)	70	205	310	.....	80 (1)	105	310	465	465

(1) A product used under the jurisdiction of the ASME Boiler and Vessel Code or the ANSI Code for Pressure Piping is subject to any limitation of that code. This includes any maximum temperature limitation for a material or a code rule governing the use of a material at a low temperature.

PRESSURE-TEMPERATURE RATINGS

FOR ANSI STANDARD FLANGES AND FLANGED
AND BUTT WELD END VALVES

Primary Pressure	900					1500				
	Carbon Steel	1/4 Cr. 1/2 Mo. A-182 Gr. F11	5 Cr. 1/2 Mo. A-182 Grade F5	A-182 Grade F-304	A-182 Grade F-316	Carbon Steel	1/4 Cr. 1/2 Mo. A-182 Gr. F11	5 Cr. 1/2 Mo. A-182 Grade F5	A-182 Grade F-304	A-182 Grade F-316
—20 to 100	2160	2160	2160	1850	2160	3600	3600	3600	3085	3600
150	2130	2130	2130	1750	2130	3550	3550	3550	2915	3550
200	2100	2100	2100	1645	2100	3500	3500	3500	2740	3500
250	2070	2070	2070	1565	2070	3450	3450	3450	2605	3450
300	2050	2050	2050	1480	2050	3415	3415	3415	2470	3415
350	2025	2025	2025	1415	2025	3375	3375	3375	2360	3375
400	2000	2000	2000	1350	2000	3330	3330	3330	2245	3330
450	1955	1955	1955	1290	1955	3255	3255	3255	2150	3255
500	1875	1875	1875	1235	1875	3125	3125	3125	2055	3125
550	1775	1775	1775	1190	1775	2955	2955	2955	1985	2955
600	1660	1660	1660	1145	1660	2770	2770	2770	1910	2770
650	1550	1550	1550	1105	1550	2580	2580	2580	1845	2580
700	1410	1450	1450	1065	1480	2350	2415	2415	1775	2465
750	1275	1350	1350	1025	1410	2125	2250	2250	1710	2355
800	1100	1250	1250	985	1345	1830	2080	2080	1645	2240
850	900 ⁽¹⁾	1150	1150	960	1275	1500 ⁽¹⁾	1915	1915	1595	2125
875	785 ⁽¹⁾	1100	1100	945	1240	1305 ⁽¹⁾	1830	1830	1570	2070
900	670 ⁽¹⁾	1050	1050	930	1205	1115 ⁽¹⁾	1750	1750	1545	2010
925	565 ⁽¹⁾	1000	1000	920	1175	945 ⁽¹⁾	1665	1665	1535	1955
950	465 ⁽¹⁾	950	950	915	1140	770 ⁽¹⁾	1585	1585	1525	1900
975	360 ⁽¹⁾	900	900	905	1105	600 ⁽¹⁾	1500	1500	1510	1840
1000	255 ⁽¹⁾	800	750	900	1070	430 ⁽¹⁾	1335	1250	1500	1785
1025	.....	685 ⁽¹⁾	645	890	1035	.....	1140 ⁽¹⁾	1070	1485	1725
1050	.....	565 ⁽¹⁾	535	875	1000	.....	945 ⁽¹⁾	890	1455	1670
1075	.....	490 ⁽¹⁾	435	825	970	.....	815 ⁽¹⁾	730	1370	1615
1100	.....	410 ⁽¹⁾	340	770	935	.....	685 ⁽¹⁾	565	1285	1555
1125	.....	335 ⁽¹⁾	285	680	900	.....	555 ⁽¹⁾	470	1135	1500
1150	.....	255 ⁽¹⁾	225	590	875	.....	430 ⁽¹⁾	375	985	1455
1175	.....	190 ⁽¹⁾	190	525	785	.....	315 ⁽¹⁾	315	880	1310
1200	.....	125 ⁽¹⁾	155	465	700	.....	205 ⁽¹⁾	255	770	1165

⁽¹⁾ A product used under the jurisdiction of the ASME Boiler and Vessel Code or the ANSI Code for Pressure Piping is subject to any limitation of that code. This includes any maximum temperature limitation for a material or a code rule governing the use of a material at a low temperature.

PRESSURE-TEMPERATURE RATINGS

THREADED & SOCKET WELD END FITTINGS

Pressure Class	2000					3000				
	Carbon Steel	1/4 Cr. 1/2 Mo. A-182 Gr. F11	5 Cr. 1/2 Mo. A-182 Grade FS	A-182 Grade F-304	A-182 Grade F-316	Carbon Steel	1/4 Cr. 1/2 Mo. A-182 Gr. F11	5 Cr. 1/2 Mo. A-182 Grade FS	A-182 Grade F-304	A-182 Grade F-316
—20 to 100	2000	2000	2000	1715	2000	3000	3000	3000	2570	3000
150	1970	1970	1970	1615	1970	2955	2955	2955	2425	2955
200	1940	1940	1940	1520	1940	2915	2915	2915	2280	2915
250	1915	1915	1915	1445	1915	2875	2875	2875	2170	2875
300	1895	1895	1895	1370	1895	2845	2845	2845	2055	2845
350	1875	1875	1875	1310	1875	2810	2810	2810	1965	2810
400	1850	1850	1850	1245	1850	2775	2775	2775	1870	2775
450	1810	1810	1810	1195	1810	2715	2715	2715	1790	2715
500	1735	1735	1735	1140	1735	2605	2605	2605	1715	2605
550	1640	1640	1640	1100	1640	2460	2460	2460	1650	2460
600	1540	1540	1540	1060	1540	2310	2310	2310	1590	2310
650	1430	1430	1430	1020	1430	2150	2150	2150	1535	2150
700	1305	1340	1340	985	1370	1960	2010	2010	1480	2055
750	1180	1245	1245	950	1305	1775	1870	1870	1425	1960
800	1015	1155	1155	915	1240	1525	1735	1735	1370	1865
850	830 ⁽¹⁾	1060	1060	885	1180	1250 ⁽¹⁾	1595	1595	1330	1770
875	725 ⁽¹⁾	1015	1015	870	1145	1090 ⁽¹⁾	1525	1525	1310	1720
900	615 ⁽¹⁾	970	970	860	1115	925 ⁽¹⁾	1455	1455	1290	1675
925	520 ⁽¹⁾	925	925	850	1085	785 ⁽¹⁾	1385	1385	1280	1630
950	425 ⁽¹⁾	880	880	845	1055	640 ⁽¹⁾	1320	1320	1270	1580
975	330 ⁽¹⁾	830	830	840	1020	500 ⁽¹⁾	1250	1250	1260	1535
1000	235 ⁽¹⁾	740	695	830	990	355 ⁽¹⁾	1115	1040	1250	1485
1025	.....	630 ⁽¹⁾	595	820	960	.....	950 ⁽¹⁾	890	1235	1440
1050	.....	520 ⁽¹⁾	495	810	925	.....	785 ⁽¹⁾	740	1215	1390
1075	.....	450 ⁽¹⁾	405	760	895	.....	675 ⁽¹⁾	605	1140	1345
1100	.....	380 ⁽¹⁾	315	715	865	.....	570 ⁽¹⁾	470	1070	1295
1125	.....	310 ⁽¹⁾	260	630	830	.....	465 ⁽¹⁾	390	945	1250
1150	.....	235 ⁽¹⁾	210	545	810	.....	355 ⁽¹⁾	315	820	1215
1175	.....	175 ⁽¹⁾	175	485	725	.....	265 ⁽¹⁾	265	730	1090
1200	.....	115 ⁽¹⁾	140	425	645	.....	170 ⁽¹⁾	215	640	970

⁽¹⁾ A product used under the jurisdiction of the ASME Boiler and Vessel Code or the ANSI Code for Pressure Piping is subject to any limitation of that code. This includes any maximum temperature limitation for a material or a code rule governing the use of a material at a low temperature.

PRESSURE-TEMPERATURE RATINGS

THREADED & SOCKET WELD END FITTINGS

Pressure Class	4000					6000					
	Carbon Steel	1/4 Cr. 1/2 Mo. A-182 Gr. F11	5 Cr. 1/2 Mo. A-182 Grade F5	A-182 Grade F-304	A-182 Grade F-316	Carbon Steel	1/4 Cr. 1/2 Mo. A-182 Gr. F11	2 1/4 Cr. 1 Mo. A-182 Gr. F22	3 Cr. 1/2 Mo. A-182 Grade F5	A-182 Grade F-304	A-182 Grade F-316
—20 to 100	4000	4000	4000	3930	4000	6000	6000	6000	6000	5145	6000
150	3940	3940	3940	3235	3940	5915	5915	5915	5915	4855	5915
200	3885	3885	3885	3040	3885	5830	5830	5830	5830	4565	5830
250	3830	3830	3830	2890	3830	5750	5750	5750	5750	4340	5750
300	3790	3790	3790	2740	3790	5690	5690	5690	5690	4115	5690
350	3750	3750	3750	2620	3750	5625	5625	5625	5625	3930	5625
400	3700	3700	3700	2495	3700	5550	5550	5550	5550	3745	5550
450	3620	3620	3620	2390	3620	5430	5430	5430	5430	3585	5430
500	3470	3470	3470	2285	3470	5210	5210	5210	5210	3430	5210
550	3280	3280	3280	2200	3280	4925	4925	4925	4925	3305	4925
600	3080	3080	3080	2120	3080	4620	4620	4620	4620	3180	4620
650	2865	2865	2865	2045	2865	4300	4300	4300	4300	3070	4300
700	2610	2680	2680	1970	2740	3920	4025	4025	4025	2960	4110
750	2365	2495	2495	1900	2610	3550	3745	3745	3745	2850	3920
800	2030	2310	2310	1830	2485	3050	3470	3470	3470	2745	3730
850	1665(*)	2125	2125	1770	2360	2500(*)	3190	3190	3190	2660	3540
875	1450(*)	2035	2035	1745	2295	2180(*)	3055	3055	3055	2620	3445
900	1235(*)	1940	1940	1720	2230	1855(*)	2915	2915	2915	2580	3350
925	1045(*)	1850	1850	1705	2170	1570(*)	2775	2775	2775	2560	3260
950	855(*)	1760	1760	1690	2110	1285(*)	2640	2640	2640	2540	3165
975	665(*)	1665	1665	1680	2045	1000(*)	2500	2500	2500	2520	3070
1000	475(*)	1485	1390	1665	1980	715(*)	2230	2230	2085	2500	2975
1025	.....	1265(*)	1190	1645	1920	.....	1900(*)	1945	1785	2470	2880
1050	.....	1045(*)	990	1620	1855	.....	1570(*)	1655	1485	2430	2785
1075	.....	900(*)	810	1520	1790	.....	1355(*)	1430(*)	1215	2285	2690
1100	.....	760(*)	630	1430	1730	.....	1145(*)	1200(*)	905	2145	2595
1125	.....	620(*)	520	1260	1665	.....	930(*)	1030(*)	785	1895	2500
1150	.....	475(*)	420	1095	1620	.....	715(*)	855(*)	630	1645	2430
1175	.....	350(*)	350	975	1455	.....	530(*)	715(*)	530	1465	2185
1200	.....	230(*)	285	855	1295	.....	345(*)	570(*)	430	1285	1945

(*) A product used under the jurisdiction of the ASME Boiler and Vessel Code or the ANSI Code for Pressure Piping is subject to any limitation of that code. This includes any maximum temperature limitation for a material or a code rule governing the use of a material at a low temperature.

FLANGES, FLANGE UNIONS, BOLT-STUDS AND RING GASKETS

3

FLANGES — The American Standards Association (now American National Standards Institute, Inc.), many years ago, established dimensional standards for steel flanges to eliminate the lack of uniformity between the products of the various manufacturers and to assist the piping engineer in establishing safe design criteria. Flanges in pressures of 150, 300 and 600 pounds are shown in this section and comply with ANSI B16.5 for Steel Pipe Flanges and Flanged Fittings. The 900 and 1500 Pound ANSI B16.5 Flange and Drilling dimensions are shown in the Engineering and Design Section, pages 250 through 253.

VOGT FLANGE UNIONS — The wide selection of Vogt flange unions in pressures of 500, 1500, 2500, 4000 and 6000 pounds are offered in facings requiring use of a gasket, and in the ground joint, a metal-to-metal connection requiring no gasket. The ground joint is particularly adaptable in hydraulic service where slight misalignment of the pipe can be compensated in the union.

Matching methods insure that the bore is at right angle to and concentric with the flange face. Bolt

holes are accurately drilled with multi-spindle drills using precision drill jigs.

All flanges are permanently marked for complete identification and all surfaces are rustproofed after machining.

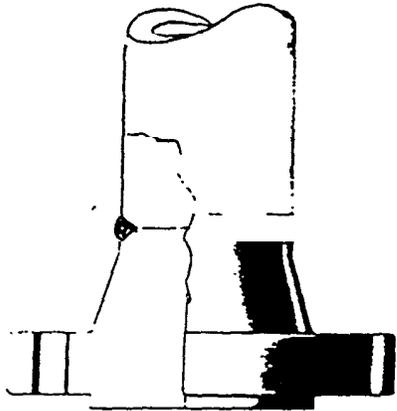
Blind flanges, as offered by Vogt, have a hub in the center of the flange. This added thickness provides additional strength which is especially important when blind flanges are tapped eccentrically or support pieces are welded on for pipe support.

Vogt's complete line of flange unions has been proven over a half century of use throughout industry.

BOLT-STUDS — Bolt-studs are high tensile alloy steel per ASTM Specification A-193, Grade B7. Nuts are hexagon, semi-finished and comply with ASTM Specification A-194, Grade 2H.

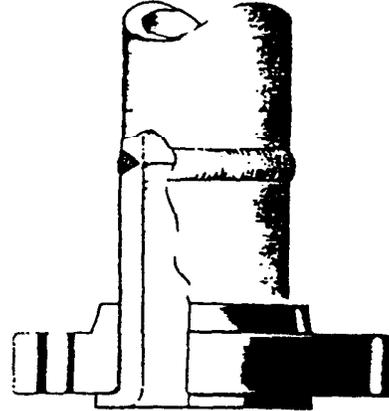
RING GASKETS — Ring gaskets are made from soft iron material and are dimensioned and numbered to ANSI B16.20.

**Attachment methods for American National Standards
Institute, Inc. types of Flanges**



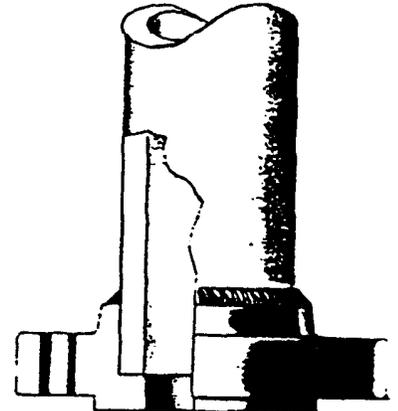
WELDING NECK FLANGES

Welding Neck Flanges are designed to be butt welded to the pipe. The long tapered hub reinforces the flange, permits stress-relieving, magnafluxing or x-raying the weld, when required, and removes the flange face from the heat affected zone. These advantages make Welding Neck Flanges particularly suitable for severe service involving high pressures, extreme temperatures, or hazardous fluids.



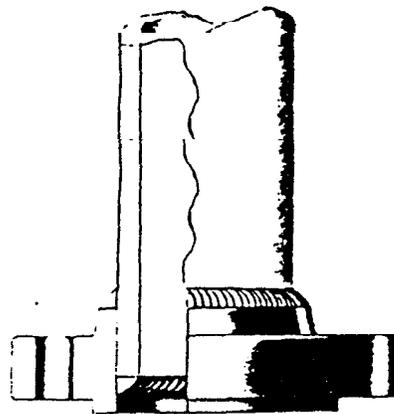
LAP JOINT FLANGES

Lap Joint Flanges, while requiring a separate end connector, provide a joint in which the product does not come in contact with the flange. In addition, the ability of the flange to rotate simplifies assembly and alignment of bolting on systems requiring frequent dismantling.



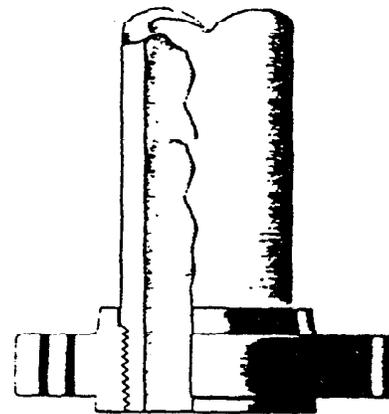
SOCKET WELDING FLANGES

Socket Welding Flanges are widely used for moderate services, particularly in the smaller sizes, because of the ease of fit up and alignment. Although usually welded at the flange hub only, the pipe end may also be welded without having to reface the flange. The pipe end weld can be ground to provide a smooth bore.



SLIP-ON WELDING FLANGES

Slip-On Welding Flanges are popular for normal service conditions because of the ease of fit up and alignment and the greater tolerance permissible in cutting the pipe to length. Recommended fabrication practice is to weld at both the flange hub and the pipe end.



THREADED FLANGES

Threaded Flanges are widely used because no welding equipment is required for assembly and both the pipe and flange can be completely salvaged upon dismantling. Accurately cut, clean, tapered pipe threads dimensioned to ANSI A2.1 Pipe Threads, assure strong, tight joints.

— GASKET MATERIALS AND CONSTRUCTION
 (Based upon Table UA-49.1 of the ASME Unfired Pressure Vessels Code.)

The design values and other details given in this table are suggested only and are not mandatory.)

GASKET GROUP NUMBER	GASKET MATERIAL		GASKET FACTOR m	MINIMUM DESIGN SEATING STRESS y	SKETCHES
I	Elastomer without Fabric or a High Percentage of Asbestos Fiber: Below 75 Shore Durometer 75 or Higher Shore Durometer		0.50 1.00	0 200	
	Asbestos with a Suitable Binder for the Operating Conditions	1/8" Thick 1/16" Thick	2.00 2.75	1600 3700	
	Elastomer with Cotton Fabric Insertion		1.25	400	
	Elastomer with Asbestos Fabric Insertion, with or without Wire Reinforcement	3-Ply	2.25	2200	
		2-Ply	2.50	2900	
		1-Ply	2.75	3700	
	Vegetable Fiber		1.75	1100	
	Spiral-Wound Metal, with Asbestos or other Nonmetallic Filler	Carbon Steel Stainless Steel or Monel	2.50 3.00	2900 4500	
Corrugated Metal, Asbestos Inserted — or Corrugated Metal Double Jacketed Asbestos Filled	Soft Aluminum Soft Copper or Brass Iron or Soft Steel	2.50 2.75 3.00	2900 3700 4500		
	Corrugated Metal	Soft Aluminum Soft Copper or Brass	2.75 3.00		3700 4500
IIa & IIb	Asbestos with a Suitable Binder for the Operating Conditions	1/32" Thick	3.50	6500	
	Corrugated Metal, Asbestos inserted — or Corrugated Metal Double Jacketed Asbestos Filled	Monel or 4-6% Chrome Stainless Steels	3.25	5500	
			3.50	6500	
	Corrugated Metal	Iron or Soft Steel Monel or 4-6% Chrome Stainless Steels	3.25	5500	
			3.50	6500	
			3.75	7600	
	Flat Metal Jacketed Asbestos Filled	Soft Aluminum Soft Copper or Brass Iron or Soft Steel Monel 4-6% Chrome Stainless Steels	3.25	5500	
3.50			6500		
3.75			7600		
3.50			8000		
3.75			9000		
Grooved Metal	Soft Aluminum Soft Copper or Brass Iron or Soft Steel Monel or 4-6% Chrome Stainless Steels	3.25	5500		
		3.50	6500		
		3.75	7600		
		4.25	10100		
Solid Flat Metal	Soft Aluminum	4.00	8800		
IIIa & IIIb	Solid Flat Metal	Soft Copper or Brass	4.75		13000
		Iron or Soft Steel	5.50		18000
		Monel or 4-6% Chrome Stainless Steels	6.00 6.50		21800 26000

Extracted from ANSI Standard Steel Pipe Flanges and Flanged Fittings, ANSI B16.5 - 1968, with the permission of the publisher, The American Society of Mechanical Engineers, United Engineering Center, 345 East 47th Street, New York, N. Y. 10017.

DIMENSIONAL DATA FOR STANDARD & SCHEDULE PIPE

CARBON STEEL PIPE

PIPE	SIZE	1/8	1/4	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	5	6	8	10	12
Standard	Outside Dia.	.405	.540	.675	.840	1.050	1.315	1.660	1.900	2.375	2.875	3.500	4.000	4.500	5.563	6.625	8.625	10.750	12.750
	Inside Dia.	.269	.364	.493	.622	.824	1.049	1.380	1.610	2.067	2.469	3.068	3.548	4.026	5.047	6.065	7.981	10.020	12.000
	Wall Thick. Wt. Per Ft.	.068 .24	.088 .42	.091 .57	.109 .85	.113 1.13	.133 1.68	.140 2.27	.145 2.72	.154 3.65	.203 5.79	.216 7.58	.226 9.11	.237 10.79	.258 14.62	.280 18.97	.322 28.55	.365 40.48	.375 49.56
Extra Heavy	Inside Dia.	.215	.302	.423	.546	.742	.957	1.278	1.500	1.939	2.323	2.900	3.364	3.826	4.813	5.761	7.625	9.750	11.750
	Wall Thick. Wt. Per Ft.	.095 .31	.119 .54	.126 .74	.147 1.09	.154 1.47	.179 2.17	.191 3.00	.200 3.63	.218 5.02	.276 7.66	.300 10.25	.318 12.51	.337 14.98	.375 20.78	.432 28.57	.500 43.39	.500 54.74	.500 65.42
Double Extra Heavy	Inside Dia.				.252	.434	.599	.896	1.100	1.503	1.771	2.300	2.728	3.152	4.063	4.897	6.875		
	Wall Thick. Wt. Per Ft.				.294 1.71	.308 2.44	.358 3.66	.382 5.21	.400 6.41	.436 9.03	.552 13.70	.600 18.58	.636 22.85	.674 27.54	.750 38.55	.864 53.16	.875 72.42		
Schedule 10	Inside Dia. Wall Thick. Wt. Per Ft.																		
Schedule 20	Inside Dia. Wall Thick. Wt. Per Ft.																8.125 .250 22.36	10.250 .250 28.04	12.250 .250 33.38
Schedule 30	Inside Dia. Wall Thick. Wt. Per Ft.																8.071 .277 24.70	10.136 .307 34.24	12.090 .330 43.77
Schedule 40	Inside Dia. Wall Thick. Wt. Per Ft.	.269 .068 .24	.364 .088 .42	.493 .091 .57	.622 .109 .85	.824 .113 1.13	1.049 .133 1.68	1.380 .140 2.27	1.610 .145 2.72	2.067 .154 3.65	2.469 .203 5.79	3.068 .216 7.58	3.548 .226 9.11	4.026 .237 10.79	5.047 .258 14.62	6.065 .280 18.97	7.981 .322 28.55	10.020 .365 40.48	11.938 .406 53.53
Schedule 60	Inside Dia. Wall Thick. Wt. Per Ft.																7.813 .406 35.64	9.750 .500 54.74	11.626 .562 73.16
Schedule 80	Inside Dia. Wall Thick. Wt. Per Ft.	.215 .095 .31	.302 .119 .54	.423 .126 .74	.546 .147 1.09	.742 .154 1.47	.957 .179 2.17	1.278 .191 3.00	1.500 .200 3.63	1.939 .218 5.02	2.323 .276 7.66	2.900 .300 10.25	3.364 .318 12.51	3.826 .337 14.98	4.813 .375 20.78	5.761 .432 28.57	7.625 .500 43.39	9.564 .593 64.33	11.376 .687 88.51
Schedule 100	Inside Dia. Wall Thick. Wt. Per Ft.																7.439 .593 50.87	9.314 .718 76.93	11.064 .843 107.20
Schedule 120	Inside Dia. Wall Thick. Wt. Per Ft.													3.624 .438 19.01	4.563 .500 27.04	5.501 .562 36.39	7.189 .718 60.63	9.064 .843 89.20	10.750 1.000 125.49
Schedule 140	Inside Dia. Wall Thick. Wt. Per Ft.																7.001 .812 67.76	8.750 1.000 104.13	10.500 1.125 139.68
Schedule 160	Inside Dia. Wall Thick. Wt. Per Ft.				.466 .187 1.30	.614 .218 1.94	.815 .250 2.84	1.160 .250 3.76	1.338 .281 4.86	1.689 .343 7.44	2.125 .375 10.01	2.624 .438 14.32		3.438 .531 22.51	4.313 .625 32.96	5.189 .718 45.30	6.814 .906 74.69	8.500 1.125 115.65	10.126 1.312 160.27

STAINLESS STEEL PIPE

PIPE	SIZE	1/8	1/4	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	5	6	8	10	12
Schedule 5 S (a)	Inside Dia.				.710	.920	1.185	1.530	1.770	2.245	2.709	3.334	3.834	4.334	5.345	6.407	8.407	10.482	12.438
	Wall Thick. Wt. Per Ft.				.065 .54	.065 .69	.065 .87	.065 1.11	.065 1.28	.065 1.61	.065 2.48	.083 3.03	.083 3.48	.083 3.92	.083 4.97	.109 6.36	.109 7.60	.109 9.93	.134 15.23	.156 22.22
Schedule 10 S (a)	Inside Dia.	.307	.410	.545	.674	.884	1.097	1.442	1.682	2.157	2.635	3.260	3.760	4.260	5.295	6.357	8.329	10.420	12.390
	Wall Thick. Wt. Per Ft.	.049 .19	.065 .33	.065 .42	.083 .67	.083 .86	.109 1.40	.109 1.81	.109 2.09	.109 2.64	.120 3.53	.120 4.33	.120 4.97	.120 5.61	.134 7.77	.134 9.29	.148 13.40	.165 18.70	.180 24.20
Schedule 40 S	Inside Dia. Wall Thick. Wt. Per Ft.	.269 .068 .24	.364 .088 .42	.493 .091 .57	.622 .109 .85	.824 .113 1.13	1.049 .133 1.68	1.380 .140 2.27	1.610 .145 2.72	2.067 .154 3.65	2.469 .203 5.79	3.068 .216 7.58	3.548 .226 9.11	4.026 .237 10.79	5.047 .258 14.62	6.065 .280 18.97	7.981 .322 28.55	10.020 .365 40.48	11.938 .406 53.53
Schedule 80 S	Inside Dia. Wall Thick. Wt. Per Ft.	.215 .095 .31	.302 .119 .54	.423 .126 .74	.546 .147 1.09	.742 .154 1.47	.957 .179 2.17	1.278 .191 3.00	1.500 .200 3.63	1.939 .218 5.02	2.323 .276 7.66	2.900 .300 10.25	3.364 .318 12.51	3.826 .337 14.98	4.813 .375 20.78	5.761 .432 28.57	7.625 .500 43.39	9.750 .500 54.74	11.750 .500 65.42

(a) Wall thickness of schedule 5S & 10S does not permit threading in accordance with USA Standard for Pipe Threads (ANSI No. B2.1).

NOTES *Wall thickness identical with thickness of "Standard-Weight" pipe.
 †Wall thickness identical with thickness of "Extra-Heavy" pipe.
 ‡These do not conform to ANSI Standard B36.10.

ALL DIMENSIONS ARE IN INCHES.
 CARBON STEEL PIPE—Conforms to ANSI B36.10 Standards.
 STAINLESS STEEL PIPE—Conforms to ANSI B36.19 Standards.

STANDARDS IN THE VALVE & FITTINGS INDUSTRY

Many standards play an important role in the design and production of forged steel valves, fittings, flanges and unions. These standards cover material, product dimension and design, procedure, and safety.

Material standards are sponsored by such organizations as the American Society for Testing and Materials (ASTM), the American Iron & Steel Institute (AISI), and the Society of Automotive Engineers (SAE).

The American National Standards Institute Inc. — formerly the American Standards Association (ASA) — whose membership is composed of both user and producer groups, serves as the issuing agency for the majority of product standards related to the valve and fittings industry. Product standards are also issued by individual user and producer agencies such as the American Petroleum Institute (API) and the Manufacturers' Standardization Society of the Valve & Fittings Industry (MSS). The latter is a member and sponsor agency of ANSI.

Procedural and safety standards are issued by ANSI, MSS and the American Society of Mechanical Engineers (ASME).

Following is a partial list of agencies whose standards have a direct bearing on the design and production of forged steel valves, fittings, flanges and unions. Some of the more significant standards are listed under the issuing agency.

American Iron & Steel Institute
101 Park Avenue
New York, N. Y. 10017

American Petroleum Institute
Division of Refining
1271 Avenue of the Americas
New York, N. Y. 10020

API Std. 598—Valve Inspection and Test.
API Std. 600—Flanged & Butt Welding End Steel Gate & Plug Valves for Refinery Use.
API Std. 602—Compact Design Carbon Steel Gate Valves for Refinery Use.

American Petroleum Institute
Division of Production
300 Corrigan Tower Bldg.
Dallas, Texas 75201

API Std. 6D—Steel Gate, Plug & Check Valves for Pipe Line Service.

The American National Standards Institute, Inc
1430 Broadway
New York, N. Y. 10018

ANSI (or ASA) B1.1—Unified & American Screw Threads.
ANSI (or ASA) B1.2—Screw Thread Gauges & Gauging.
ANSI (or ASA) B1.5—Acme Screw Threads
ANSI (or ASA) B2.1—Pipe Threads
ANSI (or ASA) B16.5—Steel Pipe Flanges & Flanged Fittings.
ANSI (or ASA) B16.9—Steel Butt Welding Fittings.
ANSI (or ASA) B16.10—Face-to-Face Dimensions of Ferrous Flanged & Welding End Valves.
ANSI (or ASA) B16.11—Forged Steel Fittings, Socket-Welding and Threaded.
ANSI (or ASA) B16.14—Ferrous Plugs, Bushings & Lock Nuts with Pipe Threads.
ANSI (or ASA) B16.20—Ring Joint Gaskets in Grooves for Steel Pipe Flanges.
ANSI (or ASA) B16.21—Non-Metallic Gaskets for Pipe Flanges.
ANSI (or ASA) B16.25—Butt Welding Ends.
ANSI (or ASA) B18.2—Square & Hexagon Bolts & Nuts.
ANSI (or ASA)—Code for Pressure Piping
B31.1.0—Power Piping (Section 1)
B31.2—Fuel Gas Piping (Section 2)
B31.3—Petroleum Refinery Piping (Section 3)
B31.4—Liquid Petroleum Transportation Piping Systems (Section 4)
B31.5—Refrigeration Piping (Section 5)
B31.6—Chemical Process Piping (Section 6)
B31.7—Nuclear Power Piping (Section 7)
B31.8—Gas Transmission and Distribution Piping Systems (Section 8)

American Society for Testing Materials
1916 Race Street
Philadelphia, Pa. 19103

ASTM A-105—Forged or Rolled Steel Pipe Flanges, Forged Fittings & Valves & Parts for High Temperature Service.

STANDARDS IN THE VALVE & FITTINGS INDUSTRY

ASTM A-106—Seamless Carbon Steel Pipe for High Temperature Service.

ASTM A-181—Forged or Rolled Steel Pipe Flanges, Forged Fittings & Valves & Parts for General Service.

ASTM A-182—Forged or Rolled Alloy-Steel Pipe Flanges, Forged Fittings & Valves & Parts for High Temperature Service.

ASTM A-193—Alloy Steel Bolting Materials for High Temperature Service.

ASTM A-194—Carbon & Alloy Steel Nuts for Bolts for High Pressure & High Temperature Service.

American Society of Mechanical Engineers
United Engineering Center
345 E. 47th Street
New York, N. Y. 10017

ASME Boiler & Vessel Code.
 Power Boilers (Section I)
 Material Specifications (Section II)
 Nuclear Vessels (Section III)
 Heating Boilers (Section IV)
 Recommended Rules for care of Power Boilers (Section VII)

Pressure Vessels (Section VIII)
 Welding Qualifications (Section IX)

Association of American Railroads
59 East Van Buren Street
Chicago, Illinois 60605

AAR Spec. M-404—Unions & Pipe Fittings.

Manufacturers Standardization Society of the Valve & Fittings Industry
420 Lexington Avenue
New York, N. Y. 10017

MSS SP-6 —Standard Finishes for Contact Faces of Pipe Flanges & Connecting End Flanges of Valves & Fittings.

MSS SP-25—Standard Marking System for Valves, Fittings, Flanges & Unions.

MSS SP-45—Bypass & Drain Connection Standard.

MSS SP-61—Hydrostatic Testing of Steel Valves.

Society of Automotive Engineers
United Engineering Center
345 E. 47th Street
New York, N. Y. 10017

**CAÑERIAS
INDUSTRIALES
(PIPING)**

APENDICE B
**Fórmulas, Gráficos y Tablas para Dimensionamiento
Hidráulico de Cañerías**

NOMENCLATURE

- | | |
|---|--|
| <p>A — Internal area of pipe in square inches. (IN²)</p> <p>Cv — Flow coefficient for valves and fittings.</p> <p>Cv_{eo} — Equivalent Cv factor for piping network.</p> <p>D — Inside diameter of pipe in feet. (FT)</p> <p>d — Inside diameter of pipe in inches. (IN)</p> <p>f — Friction factor for pipe - See Table 3A.</p> <p>g — Acceleration due to gravity = 32.2 feet per second squared. (32.2 FT/SEC²)</p> <p>H — Head in feet of fluid. (FT)</p> <p>ΔH — Head loss in feet of fluid. (FT)</p> <p>hg — Total heat of steam, in btu per pound. (BTU/LB)</p> <p>K — Valve, fitting, or other flow restriction flow resistance coefficient.</p> <p>K_{eo} — Equivalent K factor for piping network.</p> <p>L — Length of pipe in feet. (FT)</p> <p>M — Molecular weight of gas. (See Table 13)</p> <p>P' — Absolute pressure of flowing gas in pounds per square inch absolute = $\bar{P} + 14.7$ (PSIA)</p> <p>P₁ — Valve, fitting, or other flow restriction absolute inlet pressure. (PSIA)</p> <p>P₂ — Valve, fitting, or other flow restriction absolute outlet pressure. (PSIA)</p> <p>\bar{P} — Gage pressure in pounds per square inch. (PSIG)</p> <p>ΔP — Pressure drop in pounds per square inch. (PSI)</p> <p>ΔP_{EFF} — Effective pressure drop in pounds per square inch. (PSI)</p> <p>Q — Liquid flow in gallons per minute. (GPM)</p> <p>q'_m — Rate of gas flow, in cubic feet per minute at standard conditions - 14.7 psia and 60° F. (SCFM)</p> | <p>Re — Reynold's number.</p> <p>S — Specific gravity of flowing fluid relative to water at 60°F. (See Table 12)</p> <p>Sg — Specific gravity of gas relative to air. (See Table 13)</p> <p>s — Number of degrees superheat for steam in degrees fahrenheit. (°F)</p> <p>T — Absolute temperature in degrees Rankine = (460 + t). (°R)</p> <p>T₁ — Absolute inlet temperature in degrees Rankine. (°R)</p> <p>t — Temperature in degrees fahrenheit. (°F)</p> <p>t_s — Inlet water saturation temperature in degrees Fahrenheit. (°F)</p> <p>t₁ — Actual inlet water temperature in degrees fahrenheit. (°F)</p> <p>V — Mean fluid velocity in feet per second. (FT/SEC)</p> <p>V_m — Mean fluid velocity in feet per minute. (FT/MIN)</p> <p>\bar{V} — Specific volume of steam or vapor in cubic feet per pound. (FT³/LB)</p> <p>\bar{V}_1 — Specific volume of steam or vapor in cubic feet per pound at valve inlet conditions. (FT³/LB)</p> <p>\bar{V}_2 — Specific volume of steam or vapor in cubic feet per pound at valve outlet conditions. (FT³/LB)</p> <p>W — Steam or vapor flow rate in pounds per hour. (LBS/HR)</p> <p>X — Inlet quality of steam in fractional part by weight of saturated vapor in one pound of wet steam.</p> |
|---|--|
- GREEK LETTERS**
- | | |
|---|--|
| <p>ρ — (Rho) Weight density of fluid in pounds per cubic feet. (LBS/FT³)</p> <p>μ — (Mu) Absolute viscosity in centipoise.</p> <p>Δ — (Delta) Indicates differential between two points.</p> | |
|---|--|

VELOCITY OF FLUIDS THROUGH PIPING

From a fluid flow standpoint, sizing of a piping system normally begins with selection of a pipe size which insures the flowing fluid to be within a reasonable fluid velocity range. A pressure drop calculation should be made for the entire piping system utilizing this pipe size. If the pressure drop is too high at the required flow rate, then it is necessary to go to the next larger pipe size. This reduces the fluid velocity and since the pressure drop is proportional to the square of the velocity, a significant reduction in pressure drop would also be realized. If the pressure drop is lower than desired, as determined by the initial pressure drop calculation, then a reduction in pipe size is required. This leads to a higher fluid velocity and pressure drop.

The valve size normally corresponds to the pipe size; therefore, by determining the proper pipe

size, the valve size is also established.

Table I lists reasonable fluid velocities for several different fluids at different services. The required pipe size for a desired flow rate can be determined by using a reasonable velocity in the appropriate velocity formulas on the following page.

Table 2A lists liquid flow rates required for different sizes and schedule piping to obtain a fluid velocity of 600 feet per minute. This table can be used as a quick method to size pipe and valves for liquid flow. The desired valve or pipe size is obtained by referring to Table 2A, and selecting a pipe size which will carry a flow rate near that of the desired flow rate. Tables 2B and 2C can be used similarly for steam and gas flow.

TABLE I
REASONABLE FLUID VELOCITIES

FLUID/SERVICE	V _m
Water (City Water)	120-300 Feet per minute
Water (General Service)	300-600 Feet per minute
Water (Boiler Feedwater)	400-600 Feet per minute
Water (Pump Suction & Drainline)	150-300 Feet per minute
Water (Hydraulic Fluid)	to 2400 Feet per minute
Oil (Hydraulic Fluid)	
(Discharge Line)	600-1500 Feet per minute
(Pump Suction & Drain)	150-250 Feet per minute
Brine Solutions (Refrigeration)	180-480 Feet per minute
Saturated Steam (Heating)	4000-6000 Feet per minute
Saturated Steam (General Service)	6000-10000 Feet per minute
Superheated Steam (Turbine & Boiler Leads)	10000-15000 Feet per minute
Air and Gases (General Service)	4000-15000 Feet per minute
Refrigerants	
(Discharge Lines)	2000-3500 Feet per minute
(Liquid Lines)	120-240 Feet per minute

REQUIRED PIPE SIZE DETERMINATION FORMULAS

LIQUIDS

$$d = 4.95 \sqrt{\frac{Q}{V_m}}$$

GAS

$$d = 2.28 \sqrt{\frac{q'_m T}{P' V_m}}$$

STEAM & VAPORS

$$d = 1.75 \sqrt{\frac{W \bar{V}}{V_m}}$$

(These pipe formulas are used to determine the internal pipe diameter required to pass the desired flow rate (Q, q'_m, W) at the desired velocity (V_m).

VELOCITY FORMULAS

LIQUIDS

$$V_m = 19.25 \frac{Q}{A}$$

GAS

$$V_m = \frac{5.19 q'_m T}{P' d^2}$$

STEAM & VAPORS

$$V_m = \frac{3.06 W \bar{V}}{d^2}$$

(These formulas are used to determine the fluid velocity at the flow rate (Q, q'_m, W) when passing through pipe having an internal diameter (d) or area (A).

TABLE 2A

Pipe Size	Liquid Flow Rate For A 600 Feet Per Minute Velocity — (GPM)			
	Schedule 40	Schedule 80	Schedule 160	Dbl. Extra Hvy.
1/8	1.77	1.12	—	—
1/4	3.24	2.24	—	—
3/8	5.95	4.38	—	—
1/2	9.47	7.29	5.31	1.56
3/4	16.6	13.5	9.22	4.61
1	26.9	22.4	16.3	8.79
1 1/4	46.6	40.0	32.9	19.6
1 1/2	63.4	55.0	43.8	29.6
2	104.5	92.0	69.8	55.3
2 1/2	149.2	132.0	110.5	76.7
3	230.3	205.8	168.5	129.4
3 1/2	308.0	276.9	—	182.1
4	396.6	358.2	289.2	243.1
5	623.2	566.8	455.1	403.9
6	900.0	812.1	658.9	586.7
8	1558.5	1422.5	1135.8	1156.4
10	2456.5	2238.0	1767.8	—
12	3486.9	3166.4	2508.7	—

TABLE 2B
POUNDS PER HOUR OF SATURATED STEAM FLOW
FOR A 6000 FEET PER MINUTE VELOCITY IN SCHEDULE 40 PIPE

Pipe Size	ABSOLUTE PRESSURE OF FLOWING SATURATED STEAM — PSIA												
	25	50	75	100	150	200	250	300	400	500	600	700	800
1/4	16	31	45	59	86	114	141	169	224	279	337	394	456
3/8	29	56	82	108	158	208	259	309	411	512	619	722	836
1/2	47	89	131	171	252	332	412	493	654	816	985	1149	1331
3/4	82	156	229	301	442	582	724	865	1148	1432	1729	2017	2336
1	132	253	371	487	717	943	1172	1401	1859	2319	2801	3268	3784
1 1/4	229	439	643	843	1240	1632	2029	2424	3218	4014	4849	5657	6550
1 1/2	312	597	875	1147	1688	2222	2762	3300	4381	5465	6601	7701	8916
2	514	984	1442	1891	2783	3663	4552	5439	7221	9007	10879	12692	14696
2 1/2	733	1405	2057	2698	3971	5227	6496	7761	10304	12853	15523	18111	20970
3	1132	2169	3177	4166	6132	8071	10030	11985	15911	19846	23970	27965	32381
3 1/2	1515	2901	4249	5572	8201	10795	13416	16030	21281	26545	32060	37404	43310
4	1950	3735	5471	7175	10559	13898	17273	20639	27400	34177	41279	48158	55762
5	3064	5868	8596	11273	16591	21838	27141	32428	43052	53701	64859	75667	87617
6	4425	8474	12413	16279	23958	31535	39193	46828	62169	77547	93660	109270	126523
8	7663	14676	21499	28194	41494	54616	67879	81103	107672	134305	162212	189246	219128
10	12078	23132	33885	44437	65401	86083	106986	127829	169706	211683	255669	298278	345376
12	17143	32832	48094	63071	92825	122180	151848	181431	240868	300447	362876	423353	490200

TABLE 2C
STANDARD CUBIC FEET PER MINUTE (SCFM) GAS FLOW
FOR A 6000 FEET PER MINUTE VELOCITY IN SCHEDULE 40 PIPE

Pipe Size	ABSOLUTE PRESSURE OF FLOWING GAS — PSIA												
	25	50	75	100	150	200	250	300	400	500	600	700	800
1/4	7	15	22	30	44	59	74	89	118	147	177	206	236
3/8	13	27	41	54	81	108	135	162	216	270	324	378	432
1/2	22	43	65	86	129	172	215	258	344	430	516	602	688
3/4	38	75	113	151	226	302	378	453	604	755	906	1057	1208
1	61	122	183	244	367	489	612	734	978	1222	1468	1712	1956
1 1/4	106	212	318	423	635	847	1059	1270	1693	2115	2541	2964	3386
1 1/2	144	288	432	576	864	1153	1442	1729	2304	2880	3459	4035	4610
2	237	474	712	949	1425	1901	2376	2850	3798	4747	5701	6651	7598
2 1/2	339	677	1016	1354	2033	2713	3391	4067	5420	6774	8134	9490	10841
3	523	1045	1569	2091	3140	4189	5236	6280	8369	10459	12560	14654	16741
3 1/2	700	1398	2099	2797	4199	5603	7003	8400	11194	13989	16799	19600	22391
4	901	1800	2703	3602	5406	7213	9017	10815	14412	18011	21630	25235	28829
5	1416	2828	4246	5659	8495	11334	14168	16992	22645	28300	33986	39650	45298
6	2044	4084	6132	8172	12266	16367	20459	24538	32701	40867	49078	57257	65412
8	3540	7074	10621	14153	21245	28346	35433	42498	56635	70779	84999	99165	113289
10	5580	11150	16739	22307	33485	44677	55847	66982	89265	111557	133971	156298	178559
12	7920	15825	23758	31661	47526	63411	79265	95070	126697	158336	190147	221840	253433

NOTES:
 To determine the flow rate for a steam or gas velocity other than 6000 feet per minute, multiply the value from the appropriate table above by the ratio:

$$R = \frac{V_m}{6000} \text{ Where } V_m \text{ is the velocity at which the flow rate is required.}$$

To determine the flow rate for a 6000 ft. per minute velocity for a pipe other than Schedule 40, multiply the value from the appropriate table above, by the value from the following table for the desired pipe schedule and size.

Pipe Size	1/4	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	5	6	8	10	12
Schedule 80	.69	.74	.77	.81	.83	.86	.87	.88	.89	.89	.90	.90	.91	.90	.91	.91	.91
Schedule 160			.56	.56	.60	.71	.69	.67	.74	.73		.73	.73	.73	.73	.72	.72
Double Extra			.16	.28	.33	.42	.47	.53	.51	.56	.59	.61	.65	.65	.74		

FLOW OF FLUIDS THROUGH PIPE

Pressure drop due to friction for a fluid flowing in pipe can be determined by application of the Darcy formula. This formula can be applied to flow in the turbulent or laminar flow modes by modification of the friction term. The flow mode can be determined by calculation of the Reynold's number. The laminar flow mode exists for a Reynold's number less than 2000. The turbulent flow mode exists for a Reynold's number greater than 4000. For Reynold's numbers between 2000-4000, a critical zone exists where, unpredictably, flow may be either laminar or turbulent. For pressure drop calculations in this zone, it is better to use a friction factor based on the turbulent flow mode. This leads to a

higher calculated pressure drop but would insure that the pipe would not be undersized.

It is necessary to calculate the Reynold's number to establish a friction factor. The following equations can be used to calculate the Reynold's number and pressure drop for flow in pipe. Table 3A gives the friction factor for different Reynold's numbers and pipe sizes. Friction factors for the critical flow zone are also tabulated. These friction factors were obtained by extending the turbulent flow curves.

Tables 3B and 3C give pressure drops for pipe at different flow rates of water and air.

REYNOLD'S NUMBER EQUATIONS

LIQUIDS

$$Re = \frac{50.6 Q \rho}{d \mu}$$

GAS

$$Re = \frac{28.92 q_m S_g}{d \mu}$$

STEAM AND VAPORS

$$Re = \frac{6.31W}{d \mu}$$

EQUATIONS FOR PRESSURE DROP THROUGH PIPE

LIQUIDS

$$\Delta P = \frac{0.000216 f L \rho Q^2}{d^5}$$

GAS

$$\Delta P = \frac{.00007 f L (q_m)^2 S_g^2}{d^5 \rho}$$

STEAM AND VAPORS

$$\Delta P = \frac{3.4 \times 10^{-6} f L W^2 \bar{V}}{d^5}$$

TABLE 3A
 FRICTION FACTOR*

Reynolds Number	Pipe Internal Diameter — Inches															
	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.75	1.0	1.5	2	3	4	5	6	8	10	12
4000	.048	.046	.045	.044	.043	.042	.041	.040	.040	.040	.040	.040	.040	.040	.040	.040
6000	.045	.043	.041	.041	.040	.039	.038	.037	.037	.037	.037	.036	.036	.036	.036	.036
10000	.042	.040	.038	.037	.036	.035	.033	.033	.032	.032	.032	.031	.031	.031	.031	.031
20000	.039	.037	.036	.034	.033	.031	.029	.029	.028	.027	.027	.026	.026	.026	.026	.026
40000	.038	.036	.035	.032	.030	.029	.027	.026	.025	.024	.023	.023	.023	.022	.022	.022
100000	.037	.034	.033	.030	.029	.026	.025	.023	.022	.021	.020	.020	.019	.019	.018	.018
200000	.037	.034	.032	.030	.028	.025	.024	.022	.021	.019	.019	.018	.018	.017	.017	.017
400000	.037	.034	.032	.029	.027	.025	.023	.021	.020	.0195	.019	.018	.0165	.0165	.016	.0155
1000000	.037	.034	.032	.029	.027	.0245	.023	.021	.019	.0185	.017	.016	.0155	.015	.0145	.014
4000000	.037	.034	.032	.029	.027	.0245	.023	.021	.019	.0175	.016	.0155	.015	.014	.0135	.013

CRITICAL FLOW ZONE
 FRICTION FACTOR

2000	.053	.052	.052	.051	.051	.050	.050	.049	.049	.049	.049	.049	.049	.049	.048	.048
3000	.050	.048	.048	.047	.046	.045	.045	.044	.044	.043	.043	.043	.043	.043	.043	.043

(*For clean commercial steel and wrought iron pipe)

For Reynold Numbers less than 2000,

$$f = \frac{64}{Re}$$

EXAMPLE: The friction factor for a 1½" — Schedule 80 pipe (I.D. = 1.5 inches) for a flow rate yielding a Reynolds number of 100,000 is .023.

TABLE 3B
FLOW OF WATER IN SCHEDULE 40 PIPE
PRESSURE DROP PER 100 FT. OF SCHEDULE 40 PIPE AT VARIOUS FLUID VELOCITIES*

Gallons per Minute	SIZE PIPE, INCHES															
	V	ΔP	V	ΔP	V	ΔP	V	ΔP	V	ΔP	V	ΔP	V	ΔP	V	ΔP
1	3.1	6.54	1.7	1.25	1.1	.39	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	6.2	26.2	3.4	5.00	2.1	1.56	1.2	.34	—	—	—	—	—	—	—	—
3	9.3	58.9	5.0	11.3	3.2	3.52	1.8	.77	—	—	—	—	—	—	—	—
4	12.3	104.6	6.7	20.0	4.2	6.26	2.4	1.36	1.5	.39	—	—	—	—	—	—
5	—	—	8.4	31.3	5.3	9.78	3.0	2.13	1.9	.61	1.1	.15	—	—	—	—
10	—	—	—	—	10.6	39.1	6.0	8.52	3.7	2.44	2.2	.59	1.6	.25	—	—
15	—	—	—	—	—	—	9.0	19.2	5.6	5.49	3.2	1.33	2.4	.56	—	—
20	—	—	—	—	—	—	12.0	34.1	7.4	9.76	4.3	2.37	3.2	1.0	1.0	.27
25	—	—	—	—	—	—	—	—	9.3	15.3	5.4	3.70	3.9	1.56	2.4	.42
30	—	—	—	—	—	—	—	—	11.0	22.0	6.4	5.33	4.7	2.24	2.9	.61
35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7.5	7.25	5.5	3.05	3.4	.83
40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8.6	9.47	6.3	3.98	3.8	1.09
45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9.7	12.0	7.1	5.04	4.3	1.37
50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10.7	14.8	7.9	6.23	4.4	1.70
70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11.1	12.20	6.7	3.33
90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14.2	20.17	8.6	5.50
100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9.6	6.79
120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11.5	9.78
140	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13.4	13.31

Gallons per Minute	SIZE PIPE, INCHES											
	V	ΔP	V	ΔP	V	ΔP	V	ΔP	V	ΔP	V	ΔP
15	1.0	.059	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	1.3	.11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25	1.7	.17	1.1	.053	—	—	—	—	—	—	—	—
30	2.0	.24	1.3	.076	—	—	—	—	—	—	—	—
35	2.4	.32	1.5	.10	—	—	—	—	—	—	—	—
40	2.7	.42	1.7	.13	1.0	.033	—	—	—	—	—	—
45	3.0	.53	2.0	.17	1.1	.041	—	—	—	—	—	—
50	3.4	.66	2.2	.21	1.3	.051	—	—	—	—	—	—
70	4.7	1.29	3.0	.41	1.8	.100	1.1	.030	—	—	—	—
100	6.7	2.64	4.3	.84	2.5	.204	1.6	.062	1.1	.025	—	—
125	8.4	4.13	5.4	1.32	3.2	.319	2.0	.096	1.4	.038	—	—
150	10.0	5.94	6.5	1.90	3.8	.46	2.4	.14	1.7	.055	—	—
175	11.7	8.08	7.6	2.58	4.4	.62	2.8	.19	1.9	.075	—	—
200	13.4	10.6	8.7	3.37	5.0	.82	3.2	.25	2.2	.098	—	—
225	15.1	13.4	9.8	4.27	5.7	1.03	3.6	.31	2.5	.12	1.4	.029
250	—	—	10.9	5.27	6.3	1.28	4.0	.39	2.8	.15	1.6	.036
275	—	—	11.9	6.38	6.9	1.54	4.4	.47	3.1	.19	1.8	.044
300	—	—	13.0	7.59	7.6	1.84	4.8	.56	3.3	.22	1.9	.052
350	—	—	—	—	8.8	2.50	5.6	.76	3.9	.30	2.2	.071
400	—	—	—	—	10.1	3.26	6.4	.99	4.4	.39	2.6	.093
450	—	—	—	—	11.3	4.13	7.2	1.25	5.0	.50	2.9	.12
475	—	—	—	—	12.0	4.60	7.6	1.39	5.3	.56	3.0	.13
500	—	—	—	—	12.6	5.10	8.0	1.54	5.6	.62	3.2	.15
550	—	—	—	—	13.9	6.17	8.8	1.87	6.1	.74	3.5	.18
600	—	—	—	—	15.1	7.34	9.6	2.22	6.7	.89	3.9	.21
650	—	—	—	—	—	—	10.4	2.61	7.2	1.04	4.2	.25
700	—	—	—	—	—	—	11.2	3.02	7.8	1.21	4.5	.29
750	—	—	—	—	—	—	12.0	3.47	8.3	1.38	4.8	.33
800	—	—	—	—	—	—	12.8	3.95	8.9	1.57	5.1	.37
850	—	—	—	—	—	—	13.6	4.46	9.4	1.78	5.5	.42
900	—	—	—	—	—	—	14.4	5.00	10.0	1.99	5.8	.47
950	—	—	—	—	—	—	—	—	10.6	2.22	6.1	.53
1000	—	—	—	—	—	—	—	—	11.1	2.46	6.4	.58
1100	—	—	—	—	—	—	—	—	12.2	2.98	7.1	.71
1200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7.7	.84
1500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9.6	1.31
2000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12.8	2.33
2500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16.0	3.64
3000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

*Above table for water at 60°F flowing in clean commercial steel or wrought iron pipe. V = Velocity in feet per second. ΔP = Pressure drop in PSI.

To determine the pressure drop for pipe lengths other than 100 feet, multiply the pressure drop from the above table by the following ratio:

$$R = \frac{L}{100} \text{ , where L is length of pipe in feet for which the pressure drop is required.}$$

To determine the pressure drop for a pipe other than Schedule 40, multiply the value from the above table by the value for the appropriate pipe size and schedule below.

Pipe Size, Inches	1/4	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6	8	10	12
SCHEDULE 80	2.55	2.15	1.92	1.69	1.58	1.47	1.42	1.38	1.36	1.33	1.29	1.27	1.29	1.26	1.26	
SCHEDULE 160			4.23	4.35	3.53	2.38	2.52	2.74	2.12	2.18	2.20	2.19	2.18	2.21	2.28	
DOUBLE EXTRA			93.1	24.7	16.5	8.67	6.72	4.92	5.27	4.22	3.40	2.96	2.91	2.11		

TABLE 3C
FRICITION OF AIR IN SCHEDULE 40 PIPE
LOSS OF PRESSURE IN LBS. PER SQ. IN. IN 1000 FT. SCH. 40 PIPE*

q' _m Cubic Feet of Free Air Per Minute (SCFM)	Equivalent Cu. Ft. of Compressed Air Per Minute (Ft. ³ /Min.)	For Air At 100 PSIG @ 60°F. Temperature					
		Sch. 40 Pipe Size					
		½"	¾"	1"	1¼"	1½"	2"
10	1.28	3.39	.74	.21			
20	2.56	13.56	2.96	.85	.21		
30	3.84	30.51	6.65	1.91	.46	.19	
40	5.12	54.24	11.82	3.39	.82	.35	
50	6.41		18.48	5.30	1.29	.54	.15
60	7.69		26.60	7.63	1.85	.78	.21
70	8.97		36.21	10.39	2.52	1.06	.29
80	10.25		47.30	13.57	3.29	1.38	.38
90	11.53		59.86	17.17	4.16	1.75	.48
100	12.82			21.20	5.14	2.16	.59
150	19.22	2½"		47.70	11.57	4.86	1.33
200	25.63	.92			20.56	8.64	2.36
250	32.04	1.44	3"		32.13	13.50	3.68
300	38.45	2.07	.66		46.26	19.44	5.30
350	44.87	2.82	.90			26.46	7.22
400	51.26	3.68	1.17	3½"		34.56	9.42
500	64.08	5.75	1.83	.89		54.00	14.73
600	76.90	8.28	2.64	1.27	4"		21.20
700	89.71	11.27	3.59	1.73	.87		28.86
800	102.5	14.72	4.68	2.27	1.13		37.70
900	115.3	18.63	5.93	2.87	1.43	5"	47.71
1000	128.2	23.00	7.32	3.54	1.77	.54	6"
2000	256.3		29.28	14.16	7.08	2.14	.86
3000	384.5			31.86	15.93	4.82	1.93
4000	512.6			56.64	28.32	8.58	3.42
5000	640.8				44.25	13.40	5.35
6000	769.0					19.30	7.70
7000	897.1					26.26	10.49
8000	1025					34.30	13.70
9000	1153					43.41	17.33
10000	1282					53.60	21.40
11000	1410						25.89
12000	1538						30.82
13000	1666						36.17
14000	1794						41.94
15000	1922						48.15

*(For clean commercial steel or wrought iron pipe.)

To determine the pressure drop for pipe lengths other than 1000 feet, multiply the pressure drop from the above table by the ratio:

$$R = \frac{L}{1000}, \text{ where } L \text{ is length of pipe in feet for which the pressure drop is required.}$$

To determine the pressure drop for pressures different than 100 psig and temperatures different than 60°F, multiply the pressure drop from the table by the following ratio:

$$R = \left(\frac{14.7}{14.7 + P} \right) \left(\frac{460 + t}{520} \right)$$

To determine the pressure drop for a pipe other than Schedule 40, multiply the value from the above table by the value for the appropriate pipe size and schedule from the table below Table 3B.

FLOW OF FLUIDS THROUGH VALVES AND FITTINGS

K FACTOR

This is a flow resistance coefficient which can be used for fluid flow through valves and fittings to predict the pressure drops at variable fluid velocities. It is determined experimentally and is near constant for all variable flows through a valve or fitting. The K factor is also approximately equal for valves and fittings that are geometrically similar. For example, a 1/2" globe valve has the same K factor as a 2" globe valve if they have a similar flow geometry.

The K factor is defined as the number of velocity heads lost, directly convertible from the actual static pressure loss, across a valve or fitting.

It can be equated from Darcy's Formula for straight pipe as follows:

$$\Delta H = \left(f \frac{L}{D} \right) \frac{V^2}{2g} \quad \text{(Darcy Formula for Straight Pipe)}$$

$$\text{Let } K = \left(\frac{fL}{D} \right)$$

then

$$\Delta H = K \frac{V^2}{2g} \quad \text{(Valve & Fitting Formula)}$$

where

ΔH = Pressure drop in feet of liquid (FT)

f = Pipe friction factor

L = Length of pipe in feet (FT)

D = Inside diameter of pipe in feet (FT)

V = Mean velocity of fluid in feet per sec (FT/SEC)*

g = Acceleration due to gravity which is equal to 32.2 feet per second squared (32.2 FT/SEC²)

K = Valve or fitting flow resistance coefficient.

(*The actual pressure drop across a valve or fitting is in the form of a static pressure loss, not a velocity head loss. When converting this static head loss to velocity head loss, it is common practice for valve manufacturers to standardize on the velocity through schedule 40 pipe.)

From the above equations it is noted that the pressure drop for straight pipe is a function of the pipe friction, pipe length, and inside pipe diameter. For valves and fittings, pressure drop is contributable to sudden flow direction changes, sudden contrac-

tions, sudden enlargements, eddy currents, friction, and entrance and exit losses. The straight pipe formula cannot be used for determination of pressure drop for valves and fittings since it takes into account only the friction loss. The K factor is the sum of all factors which contribute to pressure drop through valves and fittings; therefore, once experimentally determined it can be used effectively in all forms of fluid flow calculations.

It is most advantageous to use the K factor when dealing with a series network of fluid piping. When used in series, the total K factor for the piping network is the sum of the individual K factors.

Typical K factors for Vogt fittings are listed in Table 5. "K" factors for other flow restrictions are also listed in Table 5 for easy reference.

FLOW FORMULAS UTILIZING K FACTOR

CONVERSION EQUATION

To convert a K factor based on a Schedule 40 pipe inside diameter to a K factor based on an inside diameter different than Schedule 40, use the following equation:

$$\frac{K_A}{K_{40}} = \left(\frac{d_A}{d_{40}} \right)^4$$

where

K_A = K factor based on an internal diameter of d_A

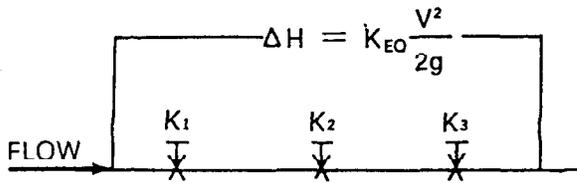
K_{40} = K factor based on an internal diameter of schedule 40 pipe. (It is common practice for valve manufacturers to standardize on this K factor.)

d_A = Internal diameter of pipe in which valve or fitting is to be installed.

d_{40} = Internal diameter of schedule 40 pipe.

FLOW FORMULAS UTILIZING K FACTOR (Cont.)

SERIES NETWORK



$$K_{EO} = K_1 + K_2 + K_3 + K_p$$

K_{EO} = Equivalent resistance factor for piping network.

K_1, K_2, K_3 = Individual K factors for valves.

K_p = K factor for connecting pipe which can be calculated from the equation $f \frac{L}{D}$, where f is friction factor
 L is length of pipe in ft., and D is internal diameter in feet.

(By using K_{EO} , total pressure drop across the three valves plus piping can be calculated.)

To determine pressure drop use:

$$\Delta P (P_1 + P_2) = K T_1 S_g \left(\frac{q_m}{479.4d^2} \right)^2$$

For ΔP equal to or greater than $.5 P_1$ *

To determine flow rate use:

$$q_m = \frac{415.2d^2 P_1}{\sqrt{T_1 S_g K}}$$

(*) For compressible fluid flow, pressure drops greater than $.5P_1$ do not effectively increase the flow rate. For the above equation, ΔP has been replaced by $.5P_1$.

LIQUID FLOW

To determine flow rate use:

$$Q = 29.9d^2 \sqrt{\frac{\Delta P}{SK}}$$

To determine pressure drop use:

$$\Delta P = .00112 SK \frac{Q^2}{.d^4}$$

GAS FLOW

For ΔP less than $.5P_1$

To determine flow rate use:

$$q_m = 479.4d^2 \sqrt{\frac{\Delta P (P_1 + P_2)}{K T_1 S_g}}$$

DRY SATURATED STEAM FLOW

For ΔP less than $.5P_1$

To determine weight flow use:

$$W = 64.1d^2 \sqrt{\frac{\Delta P (P_1 + P_2)}{K}}$$

To determine pressure drop use:

$$\Delta P (P_1 + P_2) = K \left(\frac{W}{64.1d^2} \right)^2$$

For ΔP equal to or greater than $.5P_1$

To determine flow rate use:

$$W = \frac{55.5d^2 P_1}{\sqrt{K}}$$

FLOW FORMULAS UTILIZING K FACTOR (Cont.)

SUPERHEATED

STEAM FLOW

For ΔP less than $.5P_1$

To determine weight flow use:

$$W = \frac{64.1d^2}{(1 + .0007s)} \sqrt{\frac{\Delta P (P_1 + P_2)}{K}}$$

To determine pressure drop use:

$$\Delta P (P_1 + P_2) = K \left(\frac{W [1 + .0007s]}{64.1d^2} \right)^2$$

For ΔP equal to or greater than $.5P_1$

To determine weight flow use:

$$W = \frac{55.5d^2 P_1}{(1 + .0007s) \sqrt{K}}$$

WET STEAM FLOW

For ΔP less than $.5P_1$

To determine weight flow use:

$$W = 64.1d^2 \sqrt{\frac{\Delta P (P_1 + P_2)}{K X}}$$

To determine pressure drop use:

$$\Delta P (P_1 + P_2) = K X \left(\frac{W}{64.1d^2} \right)^2$$

For ΔP equal to or greater than $.5P_1$

To determine weight flow use:

$$W = \frac{55.5d^2 P_1}{\sqrt{K X}}$$

VAPORS OTHER

THAN STEAM

For ΔP less than $.5P_1$

To determine flow rate use:

$$W = 2673d^2 \sqrt{\frac{\Delta P}{K (\bar{V}_1 + \bar{V}_2)}}$$

To determine pressure drop use:

$$\Delta P = .00000014 K (\bar{V}_1 + \bar{V}_2) \left(\frac{W}{d^2} \right)^2$$

For ΔP equal to or greater than $.5P_1$:

$$W = 1890d^2 \sqrt{\frac{P_1}{K (\bar{V}_1 + \bar{V}_2)}}$$

FLASHING MIXTURES

OF WATER AND STEAM

$$W = 14950d^2 \sqrt{\frac{S \Delta P}{K}}$$

(Note: The ΔP term for the above equation is the minimum of the actual pressure drop or effective pressure drop. The effective pressure drop can be approximated by the following:

$$\Delta P_{EFF} = [.07 + .022 (t_s - t_1)^{.70}] P_1$$

for $(t_s - t_1)$ less than $120^\circ F$

Cv FACTOR

This is the most common of flow coefficients in use today for the determination of valve flow capacity. It is defined as "the number of US gallons per minute of water at 70°F which will flow through a valve at a pressure drop of one psi".

It can be readily determined by flow test and is applicable to liquid and gas flow calculations. It can be interchanged with the K factor by modifications of the fluid flow formulas.

It is most advantageous to use the Cv factor when dealing with a parallel network of fluid piping.

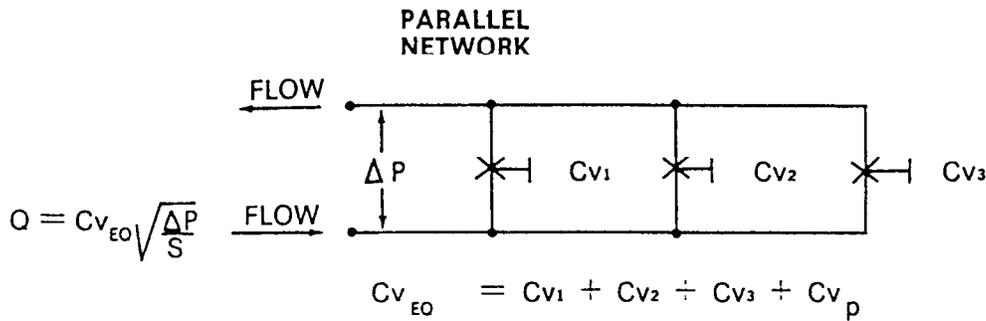
Typical Cv factors for Vogt valves are listed in Table 4.

The following equations utilize the Cv factor for determination of flow rate or pressure drop. They are essentially the same equations as those utilizing the "K" factor; however the K factor has been converted to the Cv factor by the conversion equation.

FLOW FORMULAS UTILIZING Cv FACTOR

CONVERSION EQUATION FOR FLOW COEFFICIENTS

$$C_v = \frac{29.9d^2}{\sqrt{K}}$$



$C_{v_{EO}}$ = Equivalent flow coefficient for piping network shown.

$C_{v_1}, C_{v_2}, C_{v_3}, C_{v_p}$ = Individual Cv factors for valves and pipe.

(By using $C_{v_{EO}}$, the total flow rate through the parallel piping network can be determined.)

Cv FACTOR (Cont.)

LIQUID FLOW

To determine flow rate use:

$$Q = C_v \sqrt{\frac{\Delta P}{S}}$$

To determine pressure drop use:

$$\Delta P = S \left(\frac{Q}{C_v} \right)^2$$

GAS FLOW

For ΔP less than $.5P_1$
To determine flow rate use:

$$q'_m = 16.0 C_v \sqrt{\frac{\Delta P (P_1 + P_2)}{T_1 S_g}}$$

To determine pressure drop use:

$$\Delta P (P_1 + P_2) = .0039 T_1 S_g \left(\frac{q'_m}{C_v} \right)^2$$

For ΔP equal to or greater than $.5P_1^*$
To determine flow rate use:

$$q'_m = \frac{13.9 P_1 C_v}{\sqrt{S_g T_1}}$$

[*] For compressible fluid flow, pressure drops greater than $.5P_1$ do not effectively increase the flow rate. For the above equation, ΔP has been replaced by $.5P_1$.

DRY SATURATED STEAM FLOW

For ΔP less than $.5P_1$
To determine flow rate use:

$$W = 2.1 C_v \sqrt{\Delta P (P_1 + P_2)}$$

To determine pressure drop use:

$$\Delta P (P_1 + P_2) = .227 \left(\frac{W}{C_v} \right)^2$$

For ΔP equal to or greater than $.5P_1$
To determine flow rate use:

$$W = 1.82 C_v P_1$$

SUPERHEATED STEAM FLOW

For ΔP less than $.5P_1$
To determine flow rate use:

$$W = \frac{2.1 C_v \sqrt{\Delta P (P_1 + P_2)}}{(1 + .0007s)}$$

To determine pressure drop use:

$$\Delta P (P_1 + P_2) = .227 \left(\frac{W (1 + .0007s)}{C_v} \right)^2$$

For ΔP equal to or greater than $.5P_1$
$$W = \frac{1.82 C_v P_1}{(1 + .0007s)}$$

FLOW FORMULAS UTILIZING CV FACTOR (Cont.)

**WET STEAM
FLOW**

For ΔP less than $.5P_1$
To determine flow rate use:

$$W = \frac{2.1 C_v \sqrt{\Delta P (P_1 + P_2)}}{\sqrt{X}}$$

To determine pressure drop

$$\Delta P (P_1 + P_2) = \frac{.227 W^2 X}{C_v^2}$$

For ΔP equal to or greater than $.5P_1$

To determine flow rate use:

$$W = \frac{1.82 C_v P_1}{\sqrt{X}}$$

**VAPORS OTHER
THAN STEAM**

For ΔP less than $.5P_1$
To determine flow rate use:

$$W = 89.4 C_v \sqrt{\frac{\Delta P}{\bar{V}_1 + \bar{V}_2}}$$

To determine pressure drop use:

$$\Delta P = .000125 (\bar{V}_1 + \bar{V}_2) \left(\frac{W}{C_v} \right)^2$$

For ΔP equal to or greater than $.5P_1$

To determine flow rate use:

$$W = 63.2 C_v \sqrt{\frac{P_1}{\bar{V}_1 + \bar{V}_2}}$$

**FLASHING MIXTURES
OF WATER AND STEAM**

$$W = 500 C_v \sqrt{S \Delta P}$$

(Note: The ΔP term for the above equation is the minimum of the actual pressure drop or effective pressure drop. The effective pressure drop can be approximated by the following:

$$\Delta P_{\text{EFF}} = [.07 + .022 (t_s - t_1)^{.70}] P_1$$

for $(t_s - t_1)$ less than 120°F

TABLE 4

TYPICAL Cv FACTORS FOR VALVES

Valve Size	"GP" Full Port & Selective Purpose Globe Valves	"GP" Compact Globe Valves	Angle Valves	Swing Check Valves	"GP" Full Port & Selective Purpose Gate Valves	"GP" Compact Gate Valves	Horizontal & Vertical Check Valves	Needle Point Valves	Meter Valves
1/4	1.5	1.3	1.8		2.6	2.6		.80	.64
3/8	2.9	2.0	3.3		3.9	3.9		.80	1.4
1/2	3.6	2.8	5.2	7.6	9.3	9.3	5.9	.80	1.8
3/4	6.7	3.2	9.1	13.4	28.7	9.5	10.3	1.0	3.5
1	15.4	6.8	14.7	21.7	46.5	27.5	16.7	1.5	5.8
1 1/4	20.3	15.2	25.5	37.5	80.5	80.5	28.9	3.5	7.6
1 1/2	26.1	19.6	34.7	51.1	109.6	83.6	39.2	5.5	13.2
2	43.4	27.0	57.1	84.2	181.0	96.7	64.7	5.5	21.5
2 1/2	57.6		81.5	120.0	258	165.0			
3	89.0			185	398	232.0			
4	153.3				685	358.0			
6	347.8				1555				
8					2694				

TYPICAL Cv FACTORS FOR STRAINERS

SIZE	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2
Cv	2.5	4.0	6.5	14	23	32	52

TABLE 5

TYPICAL K FACTORS FOR FLOW RESISTANCES

Type Resistance	K Factor
45° Elbow	.42
Standard Elbow	.90
Long Sweep Elbow	.60
Medium Sweep Elbow	.75
Close Return Elbow	2.20
Tee-Straight Flow	.60
Tee-Side Outlet Flow	1.80

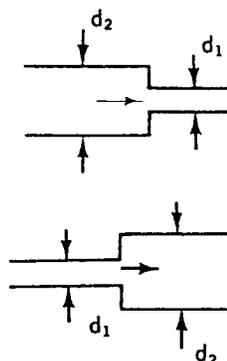
Type Resistance		K Factor
ENTRANCE LOSS: From Tank to Pipe		
Flush Connection		.50
Projecting Pipe		.78
Slightly Rounded		.23
Well Rounded		.04
EXIT LOSS: From Pipe to Tank Flush, Projecting and Rounded	ALL OF ABOVE	1.00

SUDDEN CONTRACTION

d ₁ /d ₂	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
K	.46	.45	.42	.40	.36	.28	.19	.10	.04

SUDDEN ENLARGEMENT

d ₁ /d ₂	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
K	.98	.92	.83	.71	.56	.41	.28	.13	.04



**FLOW DATA
FOR
VOGT FLOW CONTROL VALVES**

Vogt flow control valves have special discs for combination shutoff and throttling service. The two surfaces are completely removed from each other in such a manner to insure that consistent flow rates are achieved during operation. Flow variables inherent in the design of the disc and seating arrangement are controlled to insure that a linear flow characteristic is achieved. The flow is directly proportional to the lift for a constant pressure drop. An 18-8 dial and indicator permits the operator to accurately regulate the flow to the desired volume. Duplication of desired flow rates can be accurately achieved with the aid of the dial and indicator.

Table No. 6 lists the flow information for the

Vogt referenced flow control valves. The Cv factors are listed for the valves in the full open position. Cv factors at intermediate valve openings can be determined by multiplying the full open Cv factor by the ratio of the desired turns opening to turns full open. This indicates that a plot of the Cv factor versus per cent valve opening is a linear function. As an example, a 2" -Series 12443 Vogt flow control valve operating at six turns open has a Cv factor equal to $14.6 \times \frac{6}{8} = 11$.

Pressure drop or flow rates can be obtained for the Vogt flow control valves by use of the Cv factor at full or intermediate valve openings in the formulas on pages 294 through 296.

**TABLE NO. 6
FLOW CHARACTERISTICS
FOR
VOGT FLOW CONTROL VALVES**

Valve Size	Series Number	"Cv" Factor Full Open Position	Turns Full Open (Approx.)
1/2	12443	1.46	3
1/2	15443	1.46	3
3/4	12443	2.38	4 1/2
3/4	15443	2.38	4
1	12443	4.54	5
1	15443	4.54	4
1 1/2	12443	9.65	6 1/2
1 1/2	15443	12.20	6
2	12443	14.60	8
2	15443	19.60	6

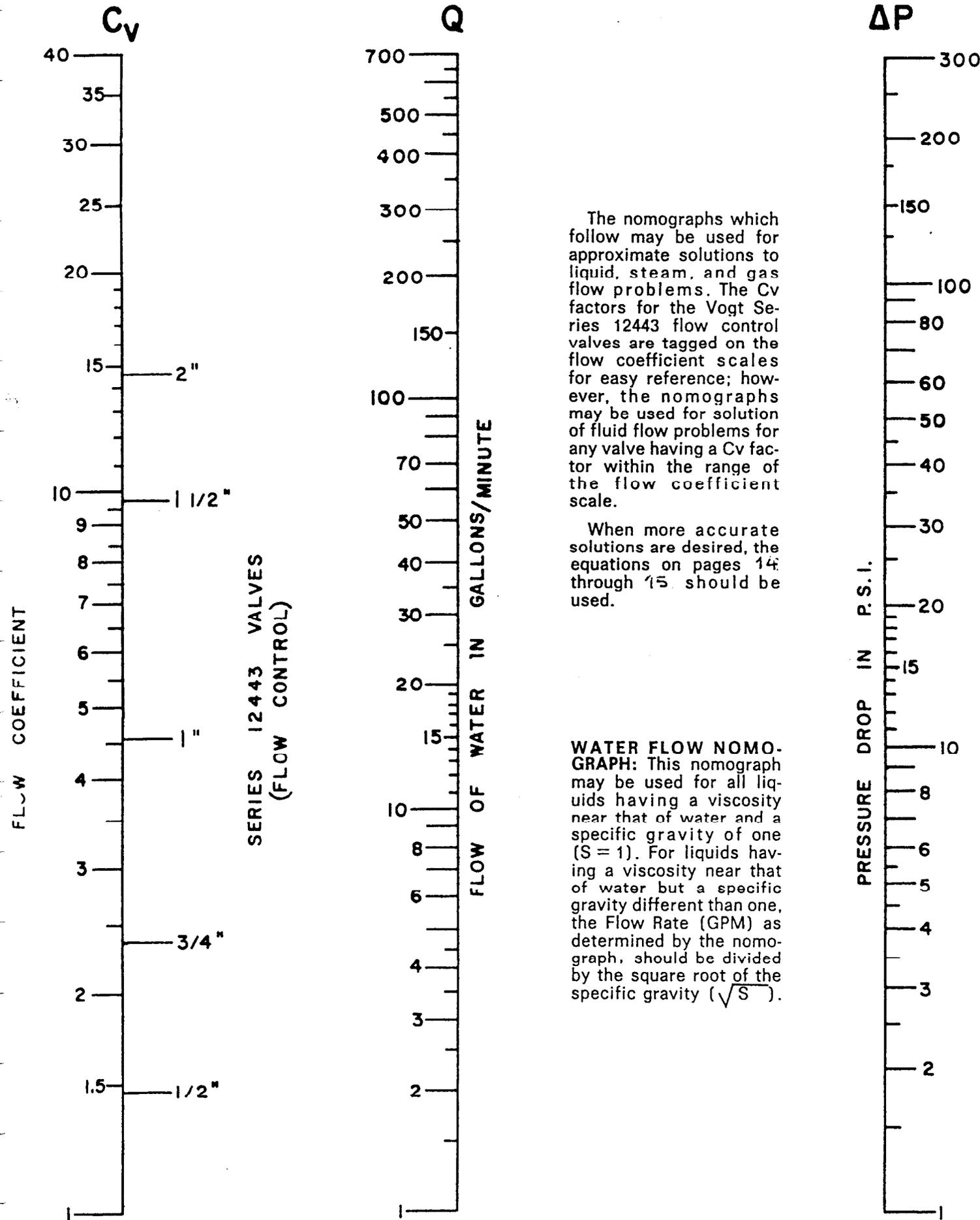
Above Cv factors are for Vogt's 4 V port disc.

2 V port discs are available.

The Cv factors for Standard Vogt control valves furnished with 2 V port discs can be determined approximately by dividing the 4 V port Cv factor from the above table by the square root of 2, i.e., 1.414.

Special flow control valves having Cv factors less than 1 are available upon request.

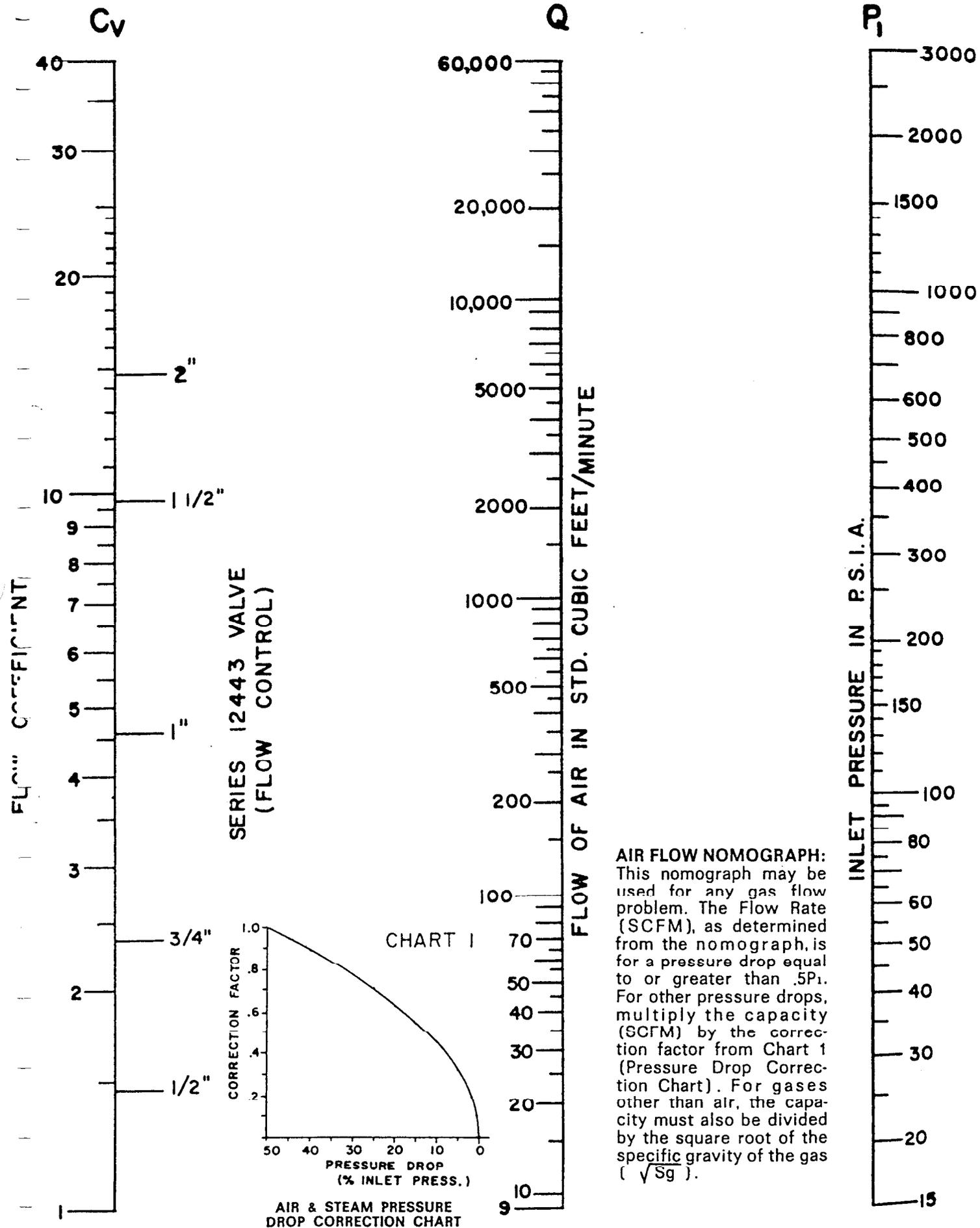
NOMOGRAPHS FOR QUICK SOLUTIONS TO FLUID FLOW PROBLEMS



The nomographs which follow may be used for approximate solutions to liquid, steam, and gas flow problems. The Cv factors for the Vogt Series 12443 flow control valves are tagged on the flow coefficient scales for easy reference; however, the nomographs may be used for solution of fluid flow problems for any valve having a Cv factor within the range of the flow coefficient scale.

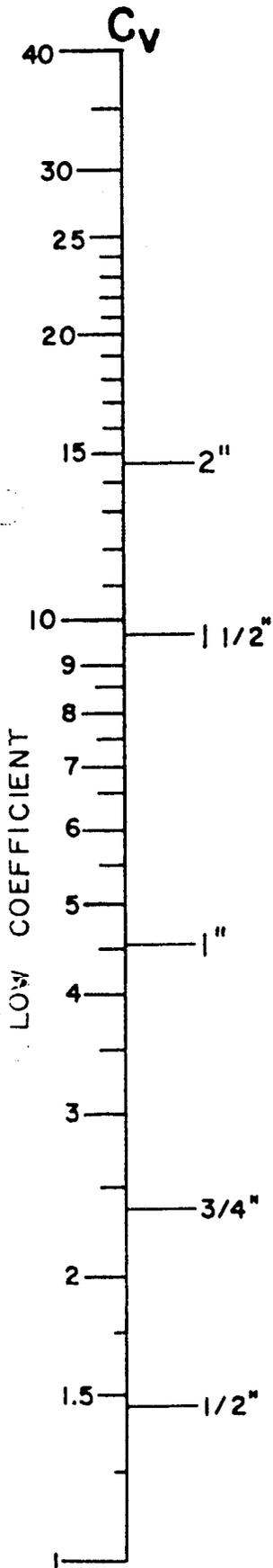
When more accurate solutions are desired, the equations on pages 14 through 15 should be used.

WATER FLOW NOMO-GRAPH: This nomograph may be used for all liquids having a viscosity near that of water and a specific gravity of one ($S = 1$). For liquids having a viscosity near that of water but a specific gravity different than one, the Flow Rate (GPM) as determined by the nomograph, should be divided by the square root of the specific gravity (\sqrt{S}).



AIR FLOW NOMOGRAPH:
 This nomograph may be used for any gas flow problem. The Flow Rate (SCFM), as determined from the nomograph, is for a pressure drop equal to or greater than .5Pi. For other pressure drops, multiply the capacity (SCFM) by the correction factor from Chart 1 (Pressure Drop Correction Chart). For gases other than air, the capacity must also be divided by the square root of the specific gravity of the gas (\sqrt{Sg}).

STEAM FLOW NOMOGRAPH



**SERIES NO. 12443 VALVES
(FLOW CONTROL)**

STEAM FLOW NOMOGRAPH: This nomograph may be used for all steam flow problems. The Steam Flow Rate (Lbs./Hr.), as determined from the nomograph, is for a pressure drop equal to or greater than .5P₁. For other pressure drops, multiply the Steam Flow Rate (Lbs./Hr.) by the correction factor from Chart 1 (Pressure Drop Correction Chart).

For superheated steam, multiply the Steam Flow Rate (Lbs./Hr.) by the correction factor from Chart 2 (Superheat Steam Correction Chart).

For wet steam, divide the Steam Flow Rate (Lbs./Hr.) by the square root of the quality \sqrt{X} .

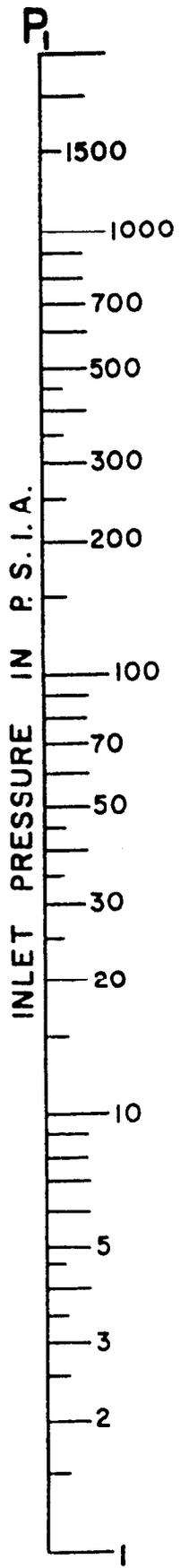
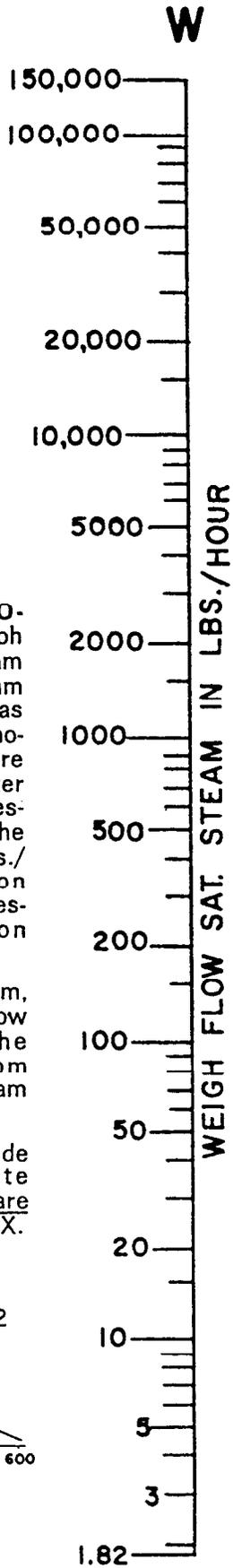
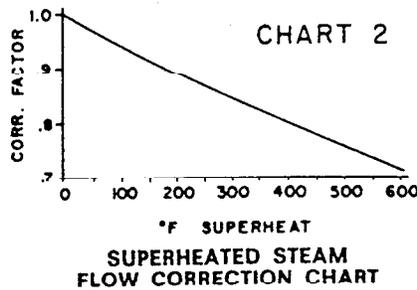


TABLE 7

PHYSICAL PROPERTIES OF WATER

Temperature of Water t Degrees Fahrenheit	Saturation Pressure P' Pounds per Square Inch Absolute	Specific Volume V Cubic Feet Per Pound	Weight Density ρ Pounds per Cubic Foot	Weight Pounds Per Gallon
32	.08859	.016022	62.414	8.343
40	.12163	.016019	62.426	8.344
50	.17796	.016023	62.410	8.342
60	.25611	.016033	62.371	8.337
70	.3629	.016050	62.305	8.328
80	.5068	.016072	62.220	8.317
90	.6982	.016099	62.116	8.303
100	.9491	.016130	61.996	8.287
110	1.2750	.016165	61.862	8.269
120	1.6927	.016204	61.713	8.249
130	2.2230	.016247	61.550	8.227
140	2.8892	.016293	61.376	8.204
150	3.7184	.016343	61.188	8.179
160	4.7414	.016395	60.992	8.153
170	5.9926	.016451	60.787	8.125
180	7.5110	.016510	60.569	8.096
190	9.340	.016572	60.343	8.066
200	11.526	.016637	60.107	8.035
210	14.123	.016705	59.862	8.002
212	14.696	.016719	59.812	7.995
220	17.186	.016775	59.613	7.968
240	24.968	.016926	59.081	7.897
260	35.427	.017089	58.517	7.822
280	49.200	.01726	57.937	7.744
300	67.005	.01745	57.307	7.660
350	134.604	.01799	55.586	7.430
400	247.259	.01864	53.646	7.171
450	422.55	.01943	51.467	6.880
500	680.86	.02043	48.948	6.543
550	1045.43	.02176	45.956	6.143
600	1543.2	.02364	42.301	5.654
700	3094.3	.03662	27.307	3.650

TABLE 8

PROPERTIES OF SATURATED STEAM

Pressure Lbs. per Sq. In.		Temperature t Degrees F.	Heat of the Liquid Btu/lb.	Latent Heat of Evaporation Btu/lb.	Total Heat of Steam hg Btu/lb.	Specific Volume v Cu. ft. per lb.
Absolute P'	Gage P					
14.696	0.0	212.00	180.17	970.3	1150.5	26.799
15.0	0.3	213.03	181.21	969.7	1150.9	26.290
16.0	1.3	216.32	184.52	967.6	1152.1	24.733
17.0	2.3	219.44	187.66	965.6	1153.2	23.385
18.0	3.3	222.41	190.66	963.7	1154.3	22.168
19.0	4.3	225.24	193.52	961.8	1155.3	21.074
20.0	5.3	227.96	196.27	960.1	1156.3	20.087
21.0	6.3	230.57	193.90	958.4	1157.3	19.190
22.0	7.3	233.07	201.44	956.7	1158.1	18.373
23.0	8.3	235.49	203.88	955.1	1159.0	17.624
24.0	9.3	237.82	206.24	953.6	1159.8	16.936
25.0	10.3	240.07	208.52	952.1	1160.6	16.301
26.0	11.3	242.25	210.7	950.6	1161.4	15.714
27.0	12.3	244.36	212.9	949.2	1162.1	15.168
28.0	13.3	246.41	214.7	947.9	1162.8	14.661
29.0	14.3	248.40	217.0	946.5	1163.5	14.187
30.0	15.3	250.34	218.9	945.2	1164.1	13.744
31.0	16.3	252.22	220.8	943.9	1164.8	13.328
32.0	17.3	254.05	222.7	942.7	1165.4	12.938
33.0	18.3	255.84	224.5	941.5	1166.0	12.570
34.0	19.3	257.58	226.3	940.3	1166.6	12.223
35.0	20.3	259.29	228.0	939.1	1167.1	11.896
36.0	21.3	260.95	229.7	938.0	1167.7	11.586
37.0	22.3	262.58	231.4	936.9	1168.2	11.292
38.0	23.3	264.17	233.0	935.8	1168.8	11.014
39.0	24.3	265.72	234.6	934.7	1169.3	10.749
40.0	25.3	267.25	236.1	933.6	1169.8	10.497
41.0	26.3	268.74	237.7	932.6	1170.2	10.256
42.0	27.3	270.21	239.2	931.5	1170.7	10.027
43.0	28.3	271.65	240.6	930.5	1171.2	9.808
44.0	29.3	273.06	242.1	929.5	1171.6	9.599
45.0	30.3	274.44	243.5	928.6	1172.0	9.399
46.0	31.3	275.80	244.9	927.6	1172.5	9.207
47.0	32.3	277.14	246.2	926.6	1172.9	9.023
48.0	33.3	278.45	247.6	925.7	1173.3	8.847
49.0	34.3	279.74	248.9	924.8	1173.7	8.677
50.0	35.3	281.02	250.2	923.9	1174.1	8.514
51.0	36.3	282.27	251.5	923.0	1174.5	8.357
52.0	37.3	283.50	252.8	922.1	1174.9	8.206
53.0	38.3	284.71	254.0	921.2	1175.2	8.061
54.0	39.3	285.90	255.2	920.4	1175.6	7.920
55.0	40.3	287.08	256.4	919.5	1175.9	7.785
56.0	41.3	288.24	257.6	918.7	1176.3	7.654
57.0	42.3	289.38	258.8	917.8	1176.6	7.528
58.0	43.3	290.50	259.9	917.0	1177.0	7.406
59.0	44.3	291.62	261.1	916.2	1177.3	7.288
60.0	45.3	292.71	262.2	915.4	1177.6	7.174
61.0	46.3	293.79	263.3	914.6	1177.9	7.063
62.0	47.3	294.06	264.4	913.8	1178.2	6.956
63.0	48.3	295.81	265.5	913.0	1178.6	6.852
64.0	49.3	296.95	266.6	912.3	1178.9	6.751
65.0	50.3	297.98	267.6	911.5	1179.1	6.653
66.0	51.3	298.99	268.7	910.8	1179.4	6.558
67.0	52.3	299.99	269.7	910.0	1179.7	6.466
68.0	53.3	300.99	270.7	909.3	1180.0	6.377
69.0	54.3	301.96	271.7	908.5	1180.3	6.290
70.0	55.3	302.93	272.7	907.8	1180.6	6.205
71.0	56.3	303.89	273.7	907.1	1180.8	6.123
72.0	57.3	304.83	274.7	906.4	1181.1	6.043
73.0	58.3	305.77	275.7	905.7	1181.4	5.965
74.0	59.3	306.69	276.6	905.0	1181.6	5.889

*Abstracted from 1967 ASME Steam Tables, 1967 copyright, by permission of the publishers American Society of Mechanical Engineers.

TABLE 8 (Cont.)

PROPERTIES OF SATURATED STEAM

Pressure Lbs. per Sq. In.		Temperature t Degrees F.	Heat of the Liquid Btu/lb.	Latent Heat of Evaporation Btu/lb.	Total Heat of Steam hg Btu/lb.	Specific Volume V Cu. ft. per lb.
Absolute p'	Gage P					
75.0	60.3	307.61	277.6	904.3	1181.9	5.814
76.0	61.3	308.51	278.5	903.6	1182.1	5.742
77.0	62.3	309.41	279.4	902.9	1182.4	5.672
78.0	63.3	310.29	280.3	902.3	1182.6	5.603
79.0	64.3	311.17	281.3	901.6	1182.8	5.536
80.0	65.3	312.04	282.1	900.9	1183.1	5.471
81.0	66.3	312.90	283.0	900.3	1183.3	5.407
82.0	67.3	313.75	283.9	899.6	1183.5	5.345
83.0	68.3	314.60	284.8	899.0	1183.8	5.284
84.0	69.3	315.43	285.7	898.3	1184.0	5.225
85.0	70.3	316.26	286.5	897.7	1184.2	5.167
86.0	71.3	317.08	287.4	897.0	1184.4	5.110
87.0	72.3	317.89	288.2	896.4	1184.6	5.055
88.0	73.3	318.69	289.0	895.8	1184.8	5.000
89.0	74.3	319.49	289.9	895.2	1185.0	4.947
90.0	75.3	320.28	290.7	894.6	1185.3	4.895
91.0	76.3	321.06	291.5	893.9	1185.5	4.845
92.0	77.3	321.84	292.3	893.3	1185.7	4.795
93.0	78.3	322.61	293.1	892.7	1185.9	4.746
94.0	79.3	323.37	293.7	892.1	1186.0	4.698
95.0	80.3	324.13	294.7	891.5	1186.2	4.651
96.0	81.3	324.88	295.5	891.0	1186.4	4.606
97.0	82.3	325.63	296.3	890.4	1186.6	4.561
98.0	83.3	326.36	297.0	889.8	1186.8	4.517
99.0	84.3	327.10	297.8	889.2	1187.0	4.473
100.0	85.3	327.82	298.5	888.6	1187.2	4.431
101.0	86.3	328.54	299.3	888.1	1187.3	4.390
102.0	87.3	329.26	300.0	887.5	1187.5	4.349
103.0	88.3	329.97	300.8	886.9	1187.7	4.309
104.0	89.3	330.67	301.5	886.4	1187.9	4.270
105.0	90.3	331.37	302.2	885.8	1188.0	4.231
106.0	91.3	332.06	303.0	885.2	1188.2	4.193
107.0	92.3	332.75	303.7	884.7	1188.4	4.156
108.0	93.3	333.44	304.4	884.1	1188.5	4.120
109.0	94.3	334.11	305.1	883.6	1188.7	4.084
110.0	95.3	334.79	305.8	883.1	1188.9	4.048
111.0	96.3	335.46	306.5	882.5	1189.0	4.014
112.0	97.3	336.12	307.2	882.0	1189.2	3.980
113.0	98.3	336.78	307.9	881.4	1189.3	3.946
114.0	99.3	337.43	308.6	880.9	1189.5	3.914
115.0	100.3	338.08	309.3	880.4	1189.6	3.881
116.0	101.3	338.73	309.9	879.9	1189.8	3.850
117.0	102.3	339.37	310.6	879.3	1189.9	3.818
118.0	103.3	340.01	311.3	878.8	1190.1	3.788
119.0	104.3	340.64	311.9	878.3	1190.2	3.757
120.0	105.3	341.27	312.6	877.8	1190.4	3.728
121.0	106.3	341.89	313.2	877.3	1190.5	3.698
122.0	107.3	342.51	313.9	876.8	1190.7	3.670
123.0	108.3	343.13	314.5	876.3	1190.8	3.641
124.0	109.3	343.74	315.2	875.8	1190.9	3.613
125.0	110.3	344.35	315.8	875.3	1191.1	3.586
126.0	111.3	344.95	316.4	874.8	1191.2	3.559
127.0	112.3	345.55	317.1	874.3	1191.3	3.532
128.0	113.3	346.15	317.7	873.8	1191.5	3.506
129.0	114.3	346.74	318.3	873.3	1191.6	3.480
130.0	115.3	347.33	319.0	872.8	1191.7	3.454
131.0	116.3	347.92	319.6	872.3	1191.9	3.429
132.0	117.3	348.50	320.2	871.8	1192.0	3.405
133.0	118.3	349.08	320.8	871.3	1192.1	3.380
134.0	119.3	349.65	321.4	870.8	1192.2	3.356

*Abstracted from 1967 ASME Steam Tables, 1967 copyright, by permission of the publishers American Society of Mechanical Engineers.

TABLE 8 (Cont.)

PROPERTIES OF SATURATED STEAM

Pressure Lbs. per Sq. In.		Temperature t Degrees F.	Heat of the Liquid Btu/lb.	Latent Heat of Evaporation Btu/lb.	Total Heat of Steam hg Btu/lb.	Specific Volume V Cu. ft. per lb.
Absolute p'	Gage p					
135.0	120.3	350.23	322.0	870.4	1192.4	3.333
136.0	121.3	350.79	322.6	869.9	1192.5	3.309
137.0	122.3	351.36	323.2	869.4	1192.6	3.286
138.0	123.3	351.92	323.8	868.9	1192.7	3.263
139.0	124.3	352.48	324.4	868.5	1192.8	3.241
140.0	125.3	353.04	325.0	868.0	1193.0	3.219
141.0	126.3	353.59	325.5	867.5	1193.1	3.197
142.0	127.3	354.14	326.1	867.1	1193.2	3.176
143.0	128.3	354.69	326.7	866.6	1193.3	3.155
144.0	129.3	355.23	327.3	866.2	1193.4	3.134
145.0	130.3	355.77	327.8	865.7	1193.5	3.113
146.0	131.3	356.31	328.4	865.2	1193.6	3.093
147.0	132.3	356.84	329.0	864.8	1193.8	3.073
148.0	133.3	357.38	329.5	864.3	1193.9	3.053
149.0	134.3	357.91	330.1	863.9	1194.0	3.033
150.0	135.3	358.43	330.6	863.4	1194.1	3.014
152.0	137.3	359.48	331.8	862.5	1194.3	2.976
154.0	139.3	360.51	332.8	861.6	1194.5	2.939
156.0	141.3	361.53	333.9	860.8	1194.7	2.903
158.0	143.3	362.55	335.0	859.9	1194.9	2.868
160.0	145.3	363.55	336.1	859.0	1195.1	2.834
162.0	147.3	364.54	337.1	858.2	1195.3	2.800
164.0	149.3	365.53	338.2	857.3	1195.5	2.767
166.0	151.3	366.50	339.2	856.5	1195.7	2.736
168.0	153.3	367.47	340.2	855.6	1195.8	2.704
170.0	155.3	368.42	341.2	854.8	1196.0	2.674
172.0	157.3	369.37	342.2	853.9	1196.2	2.644
174.0	159.3	370.31	343.2	853.1	1196.4	2.615
176.0	161.3	371.24	344.2	852.3	1196.5	2.586
178.0	163.3	372.16	345.2	851.5	1196.7	2.559
180.0	165.3	373.08	346.2	850.7	1196.9	2.531
182.0	167.3	373.98	347.2	849.9	1197.0	2.505
184.0	169.3	374.88	348.1	849.1	1197.2	2.478
186.0	171.3	375.77	349.1	848.3	1197.3	2.453
188.0	173.3	376.65	350.0	847.5	1197.5	2.428
190.0	175.3	377.53	350.9	846.7	1197.6	2.403
192.0	177.3	378.40	351.9	845.9	1197.8	2.379
194.0	179.3	379.26	352.8	845.1	1197.9	2.355
196.0	181.3	380.12	353.7	844.4	1198.1	2.332
198.0	183.3	380.96	354.6	843.6	1198.2	2.310
200.0	185.3	381.80	355.5	842.8	1198.3	2.287
205.0	190.3	383.88	357.7	840.9	1198.7	2.233
210.0	195.3	385.91	359.9	839.1	1199.0	2.182
215.0	200.3	387.91	362.1	837.2	1199.3	2.133
220.0	205.3	389.88	364.2	835.4	1199.6	2.086
225.0	210.3	391.80	366.2	833.6	1199.9	2.0414
230.0	215.3	393.70	368.3	831.8	1200.1	1.9985
235.0	220.3	395.56	370.3	830.1	1200.4	1.9573
240.0	225.3	397.39	372.3	828.4	1200.6	1.9177
245.0	230.3	399.19	374.2	826.6	1200.9	1.8797
250.0	235.3	400.97	376.1	825.0	1201.1	1.8432
255.0	240.3	402.72	378.0	823.3	1201.3	1.8080
260.0	245.3	404.44	379.9	821.6	1201.5	1.7742
265.0	250.3	406.13	381.7	820.0	1201.7	1.7416
270.0	255.3	407.80	383.6	818.3	1201.9	1.7101
275.0	260.3	409.45	385.4	816.7	1202.1	1.6798
280.0	265.3	411.07	387.1	815.1	1202.3	1.6505
285.0	270.3	412.67	388.9	813.6	1202.4	1.6222
290.0	275.3	414.25	390.6	812.0	1202.6	1.5948
295.0	280.3	415.81	392.3	810.4	1202.7	1.5684

*Abstracted from 1967 ASME Steam Tables, 1967 copyright, by permission of the publishers American Society of Mechanical Engineers.

TABLE 8 (Cont.)

PROPERTIES OF SATURATED STEAM

Pressure Lbs. per Sq. In.		Temperature t Degrees F.	Heat of the Liquid Btu/lb.	Latent Heat of Evaporation Btu/lb.	Total Heat of Steam hg Btu/lb.	Specific Volume V Cu. ft. per lb.
Absolute P'	Gage P					
300.0	285.3	417.35	394.0	808.9	1202.9	1.5427
320.0	305.3	423.31	400.5	802.9	1203.4	1.4480
340.0	325.3	428.99	406.8	797.0	1203.8	1.3641
360.0	345.3	434.41	412.8	791.3	1204.1	1.2891
380.0	365.3	439.61	418.6	785.8	1204.4	1.2218
400.0	385.3	444.60	424.2	780.4	1204.6	1.1610
420.0	405.3	449.40	429.6	775.2	1204.7	1.1057
440.0	425.3	454.03	434.8	770.0	1204.8	1.0554
460.0	445.3	458.50	439.8	765.0	1204.8	1.0092
480.0	465.3	462.82	444.7	760.0	1204.8	0.9668
500.0	485.3	467.01	449.5	755.1	1204.7	0.9276
520.0	505.3	471.07	454.2	750.4	1204.5	0.8914
540.0	525.3	475.01	458.7	745.7	1204.4	0.8577
560.0	545.3	478.84	463.1	741.0	1204.2	0.8264
580.0	565.3	482.57	467.5	736.5	1203.9	0.7971
600.0	585.3	486.20	471.7	732.0	1203.7	0.7698
620.0	605.3	489.74	475.8	727.5	1203.4	0.7441
640.0	625.3	493.19	479.9	723.1	1203.0	0.7200
660.0	645.3	496.57	483.9	718.8	1202.7	0.6972
680.0	665.3	499.86	487.8	714.5	1202.3	0.6758
700.0	685.3	503.08	491.6	710.2	1201.8	0.6556
720.0	705.3	506.23	495.4	706.0	1201.4	0.6364
740.0	725.3	509.32	499.1	701.9	1200.9	0.6182
760.0	745.3	512.34	502.7	697.7	1200.4	0.6010
780.0	765.3	515.30	506.3	693.6	1199.9	0.5846
800.0	785.3	518.21	509.8	689.6	1199.4	0.5690
820.0	805.3	521.06	513.3	685.5	1198.8	0.5541
840.0	825.3	523.86	516.7	681.5	1198.2	0.5399
860.0	845.3	526.60	520.1	677.6	1197.7	0.5263
880.0	865.3	529.30	523.4	673.6	1197.0	0.5133
900.0	885.3	531.95	526.7	669.7	1196.4	0.5009
920.0	905.3	534.56	530.0	665.8	1195.7	0.4890
940.0	925.3	537.13	533.2	661.9	1195.0	0.4776
960.0	945.3	539.65	536.3	658.0	1194.4	0.4666
980.0	965.3	542.14	539.5	654.2	1193.7	0.4561
1000.0	985.3	544.58	542.6	650.4	1192.9	0.4460
1050.0	1035.3	550.53	550.1	640.9	1191.0	0.4222
1100.0	1085.3	556.28	557.5	631.5	1187.1	0.4006
1150.0	1135.3	561.82	564.8	622.2	1187.0	0.3807
1200.0	1185.3	567.19	571.9	613.0	1184.8	0.3625
1250.0	1235.3	572.38	578.8	603.8	1182.6	0.3456
1300.0	1285.3	577.42	585.6	594.6	1180.2	0.3299
1400.0	1385.3	587.07	598.8	576.5	1175.3	0.3012
1500.0	1485.3	596.20	611.7	558.4	1170.1	0.2772
1600.0	1585.3	604.87	624.2	540.3	1164.5	0.2555
1700.0	1685.3	613.13	636.5	522.2	1158.6	0.2361
1800.0	1785.3	621.02	648.5	503.8	1152.3	0.2186
1900.0	1885.3	628.56	660.4	485.2	1145.6	0.2028
2000.0	1985.3	635.80	672.1	466.2	1138.3	0.1883
2100.0	2085.3	642.76	683.8	446.7	1130.5	0.1750
2200.0	2185.3	649.45	695.5	426.7	1122.2	0.1627
2300.0	2285.3	655.89	707.2	406.0	1113.2	0.1513
2400.0	2385.3	662.11	719.0	384.8	1103.7	0.1408
2500.0	2485.3	668.11	731.7	361.6	1093.3	0.1307
2600.0	2585.3	673.91	744.5	337.6	1082.0	0.1211
2700.0	2685.3	679.53	757.3	312.3	1069.7	0.1119
2800.0	2785.3	684.96	770.7	285.1	1055.8	0.1031
2900.0	2885.3	690.22	785.1	254.7	1039.8	0.0942
3000.0	2985.3	695.33	801.8	218.4	1020.3	0.0850
3100.0	3085.3	700.28	824.0	169.3	993.3	0.0745
3200.0	3185.3	705.08	875.5	56.1	931.6	0.0556
3208.2	3191.5	705.47	906.0	0.0	906.0	0.0508

*Abstracted from 1967 ASME Steam Tables, 1967 copyright, by permission of the publishers American Society of Mechanical Engineers.

TABLE 9
PROPERTIES OF SUPERHEATED STEAM

Pressure Lbs. per Sq. In.		Sat. Temp. t		Total Temperature — Degrees Fahrenheit (t)										
Abs. P'	Gage P			360°	400°	440°	480°	500°	600°	700°	800°	900°	1000°	1200°
14.696	0.0	212.00	\bar{v} hg	33.03 1221.1	34.68 1239.9	36.32 1258.8	37.96 1277.6	38.78 1287.1	42.86 1334.8	46.94 1383.2	51.00 1432.3	55.07 1482.3	59.13 1533.1	67.25 1637.5
20.0	5.3	227.96	\bar{v} hg	24.206 1220.1	25.428 1239.2	26.643 1258.3	27.853 1277.3	28.457 1286.9	31.466 1334.9	34.465 1383.5	37.458 1432.9	40.447 1483.2	43.435 1534.3	49.405 1639.3
30.0	15.3	250.34	\bar{v} hg	16.067 1218.4	16.892 1237.8	17.710 1257.1	18.524 1276.3	18.929 1286.0	20.945 1334.2	22.951 1383.0	24.952 1432.5	26.949 1482.8	28.943 1534.0	32.927 1637.0
40.0	25.3	267.25	\bar{v} hg	11.996 1216.7	12.624 1236.4	13.244 1255.9	13.859 1275.3	14.165 1285.0	15.685 1333.6	17.195 1382.5	18.699 1432.1	20.199 1482.5	21.697 1533.7	24.689 1638.8
50.0	35.3	281.02	\bar{v} hg	9.553 1214.9	10.062 1234.9	10.564 1254.7	11.060 1274.3	11.306 1284.1	12.529 1332.9	13.741 1382.0	14.947 1431.7	16.150 1482.2	17.350 1533.4	19.746 1638.6
60.0	45.3	292.71	\bar{v} hg	7.924 1213.1	8.354 1233.5	8.776 1253.5	9.193 1273.3	9.400 1283.2	10.425 1332.3	11.438 1381.5	12.446 1431.3	13.450 1481.8	14.452 1533.2	16.450 1638.4
70.0	55.3	302.93	\bar{v} hg	6.759 1211.3	7.133 1232.0	7.500 1252.3	7.860 1272.3	8.039 1282.2	8.922 1331.6	9.793 1381.0	10.659 1430.9	11.522 1481.5	12.382 1532.9	14.097 1638.2
80.0	65.3	312.04	\bar{v} hg	5.885 1209.4	6.218 1230.5	6.542 1251.0	6.860 1271.3	7.018 1281.3	7.794 1330.9	8.560 1380.5	9.319 1430.5	10.075 1481.1	10.829 1532.6	12.331 1638.0
90.0	75.3	320.28	\bar{v} hg	5.205 1207.5	5.505 1228.9	5.797 1249.8	6.082 1270.2	6.223 1280.3	6.917 1320.2	7.600 1380.0	8.277 1430.1	8.950 1480.8	9.621 1532.3	10.958 1637.8
100.0	85.3	327.82	\bar{v} hg	4.661 1205.5	4.935 1227.	5.200 1248.5	5.460 1269.1	5.588 1279.3	6.216 1329.6	6.833 1379.5	7.443 1429.7	8.050 1480.4	8.655 1532.0	9.860 1637.5
120.0	105.3	341.27	\bar{v} hg	3.8424 1201.4	4.0786 1224.1	4.3054 1245.9	4.5258 1267.0	4.6341 1277.4	5.1637 1328.2	5.6813 1378.4	6.1928 1428.8	6.7006 1479.8	7.2060 1531.4	8.2119 1637.1
140.0	125.3	353.02	\bar{v} hg	3.2567 1197.2	3.4661 1220.8	3.6656 1243.2	3.8582 1264.8	3.9526 1275.3	4.4119 1326.8	4.8588 1377.4	5.2995 1428.0	5.7364 1479.1	6.1709 1530.8	7.0349 1636.7
160.0	145.3	363.55	\bar{v} hg	—	3.0060 1217.4	3.1853 1240.4	3.3573 1262.5	3.4413 1273.3	3.8480 1325.4	4.2420 1376.4	4.6295 1427.2	5.0132 1478.4	5.3945 1530.3	6.1522 1636.3
180.0	165.3	373.08	\bar{v} hg	—	2.6474 1213.8	2.8112 1237.6	2.9673 1260.2	3.0433 1271.2	3.4093 1324.0	3.7621 1375.3	4.1084 1426.3	4.4508 1477.7	4.7907 1529.7	5.4657 1635.9
200.0	185.3	381.80	\bar{v} hg	—	2.3598 1210.1	2.5115 1234.7	2.6551 1257.9	2.7247 1269.0	3.0583 1322.6	3.3783 1374.3	3.6915 1425.5	4.0008 1477.0	4.3077 1529.1	4.9165 1635.4
220.0	205.3	389.88	\bar{v} hg	—	2.1240 1206.3	2.2659 1231.7	2.3994 1255.4	2.4638 1266.9	2.7710 1321.2	3.0642 1373.2	3.3504 1424.7	3.6327 1476.3	3.9125 1528.5	4.4671 1635.0
240.0	225.3	397.39	\bar{v} hg	—	1.9268 1202.4	2.0608 1228.6	2.1860 1253.0	2.2462 1264.6	2.5316 1319.7	2.8024 1372.1	3.0661 1423.8	3.3259 1475.6	3.5831 1527.9	4.0926 1634.6
260.0	245.3	404.44	\bar{v} hg	—	—	1.8870 1225.5	2.0053 1250.4	2.0619 1262.4	2.3289 1318.2	2.5808 1371.1	2.8256 1423.0	3.0663 1474.9	3.3044 1527.3	3.7758 1634.2
280.0	265.3	411.07	\bar{v} hg	—	—	1.7376 1222.2	1.8501 1247.9	1.9037 1260.0	2.1551 1316.8	2.3909 1370.0	2.6194 1422.1	2.8437 1474.2	3.0655 1526.8	3.5042 1633.8
300.0	285.3	417.35	\bar{v} hg	—	—	1.6079 1218.9	1.7154 1245.2	1.7665 1257.6	2.0044 1315.2	2.2263 1368.9	2.4407 1421.3	2.6509 1473.6	2.8585 1526.2	3.2688 1633.3
320.0	305.3	423.31	\bar{v} hg	—	—	1.4940 1215.5	1.5974 1242.5	1.6462 1255.2	1.8725 1313.7	2.0823 1367.8	2.2843 1420.5	2.4821 1472.9	2.6774 1525.6	3.0628 1632.9
340.0	325.3	428.99	\bar{v} hg	—	—	1.3933 1212.0	1.4930 1239.8	1.5399 1252.8	1.7561 1312.2	1.9552 1366.7	2.1463 1419.6	2.3333 1472.2	2.5175 1525.0	2.8811 1632.5
360.0	345.3	434.41	\bar{v} hg	—	—	1.3034 1208.4	1.4001 1237.0	1.4454 1250.3	1.6525 1310.6	1.8421 1365.6	2.0237 1418.7	2.2009 1471.5	2.3755 1524.4	2.7196 1632.1

*Abstracted from 1967 ASME Steam Tables, 1967 copyright, by permission of the publishers American Society of Mechanical Engineers.

TABLE 9 (Cont.)

PROPERTIES OF SUPERHEATED STEAM

Pressure Lbs. per Sq. in.		Sat. Temp. t		Total Temperature — Degrees Fahrenheit (t)										
Abs. P'	Gage P			500°	540°	600°	640°	660°	700°	740°	800°	900°	1000°	1200°
380.0	365.3	439.6	\bar{v} hg	1.3606 1247.7	1.4435 1273.3	1.5598 1309.0	1.6337 1331.6	1.6699 1342.7	1.7410 1364.5	1.8109 1386.0	1.9139 1417.9	2.0825 1470.8	2.2484 1523.8	2.5750 1631.6
400.0	385.3	444.60	\bar{v} hg	1.2841 1245.1	1.3644 1271.2	1.4763 1307.4	1.5472 1330.3	1.5819 1341.4	1.6499 1363.4	1.7167 1385.0	1.8151 1417.0	1.9759 1470.1	2.1339 1523.3	2.4450 1631.2
420.0	405.3	449.40	\bar{v} hg	1.2148 1242.4	1.2926 1269.1	1.4007 1305.8	1.4689 1328.9	1.5022 1340.2	1.5676 1362.3	1.6316 1384.0	1.7258 1416.2	1.8795 1469.4	2.0304 1522.7	2.3273 1630.8
440.0	425.3	454.03	\bar{v} hg	1.1517 1239.7	1.2274 1266.9	1.3319 1304.2	1.3977 1327.5	1.4298 1338.9	1.4926 1361.1	1.5541 1383.0	1.6445 1415.3	1.7918 1468.7	1.9363 1522.1	2.2203 1630.4
460.0	445.3	458.50	\bar{v} hg	1.0939 1236.9	1.1677 1264.7	1.2691 1302.5	1.3327 1326.1	1.3636 1337.5	1.4242 1360.0	1.4834 1382.0	1.5703 1414.4	1.7117 1468.0	1.8504 1521.5	2.1226 1629.9
480.0	465.3	462.82	\bar{v} hg	1.0409 1234.1	1.1129 1262.4	1.2115 1300.8	1.2731 1324.7	1.3030 1336.2	1.3615 1358.8	1.4186 1381.0	1.5023 1413.6	1.6384 1467.3	1.7716 1520.9	2.0330 1629.5
500.0	485.3	467.01	\bar{v} hg	0.9919 1231.2	1.0624 1260.2	1.1584 1299.1	1.2182 1323.2	1.2471 1334.9	1.3037 1357.7	1.3589 1379.9	1.4397 1412.7	1.5708 1466.6	1.6992 1520.3	1.9507 1629.1
520.0	505.3	471.07	\bar{v} hg	0.9466 1228.3	1.0157 1257.8	1.1094 1297.4	1.1675 1321.8	1.1956 1333.6	1.2504 1356.5	1.3038 1378.9	1.3819 1411.8	1.5085 1465.9	1.6323 1519.7	1.8746 1628.7
540.0	525.3	475.01	\bar{v} hg	0.9045 1225.3	0.9725 1255.5	1.0640 1295.7	1.1205 1320.3	1.1478 1332.2	1.2010 1355.3	1.2528 1377.9	1.3284 1410.9	1.4508 1465.1	1.5704 1519.1	1.8042 1628.2
560.0	545.3	478.84	\bar{v} hg	0.8653 1222.2	0.9322 1253.1	1.0217 1293.9	1.0768 1318.8	1.1034 1330.8	1.1552 1354.2	1.2054 1376.8	1.2787 1410.0	1.3972 1464.4	1.5129 1518.6	1.7388 1627.8
580.0	565.3	482.57	\bar{v} hg	0.8287 1219.1	0.8946 1250.7	0.9824 1292.1	1.0362 1317.3	1.0621 1329.5	1.1125 1353.0	1.1613 1375.8	1.2324 1409.2	1.3473 1463.7	1.4593 1518.0	1.6780 1627.4
600.0	585.3	486.20	\bar{v} hg	0.7944 1215.9	0.8595 1248.2	0.9456 1290.3	0.9982 1315.8	1.0235 1328.1	1.0726 1351.8	1.1201 1374.7	1.1892 1408.3	1.3008 1463.0	1.4093 1517.4	1.6211 1627.0
650.0	635.3	494.89	\bar{v} hg	0.7131 1207.6	0.7808 1241.8	0.8634 1285.7	0.9134 1312.0	0.9373 1324.5	0.9835 1342.8	1.0282 1372.1	1.0929 1406.0	1.1969 1461.2	1.2979 1515.9	1.4944 1625.9
700.0	685.3	503.08	\bar{v} hg	—	0.7129 1235.2	0.7928 1281.0	0.8405 1308.1	0.8633 1320.9	0.9072 1345.6	0.9493 1369.4	1.0102 1403.7	1.1078 1459.4	1.2023 1514.4	1.3858 1624.8
750.0	735.3	510.84	\bar{v} hg	—	0.6536 1228.2	0.7313 1276.1	0.7773 1304.1	0.7996 1316.6	0.8409 1342.5	0.8809 1366.6	0.9386 1401.5	1.0306 1457.6	1.1195 1512.9	1.2916 1623.8
800.0	785.3	518.21	\bar{v} hg	—	0.6013 1220.9	0.6774 1271.1	0.7218 1300.0	0.7427 1313.5	0.7828 1339.3	0.8210 1363.8	0.8759 1399.1	0.9631 1455.8	1.0470 1511.4	1.2093 1622.7
850.0	835.3	525.24	\bar{v} hg	—	0.5546 1213.3	0.6296 1265.9	0.6727 1295.7	0.6929 1309.6	0.7315 1336.0	0.7681 1361.0	0.8205 1396.8	0.9034 1454.0	0.9830 1510.0	1.1366 1621.6
900.0	885.3	531.95	\bar{v} hg	—	0.5126 1205.2	0.5869 1260.6	0.6289 1291.4	0.6486 1305.7	0.6858 1332.7	0.7210 1358.2	0.7713 1394.4	0.8504 1452.2	0.9262 1508.5	1.0720 1620.6
950.0	935.3	538.39	\bar{v} hg	—	0.4744 1196.6	0.5485 1255.1	0.5897 1287.0	0.6088 1301.7	0.6449 1329.3	0.6789 1355.3	0.7272 1392.0	0.8030 1450.3	0.8753 1507.0	1.0142 1619.5
1000.0	985.3	544.58	\bar{v} hg	—	—	0.5137 1249.3	0.5542 1282.5	0.5729 1297.6	0.6080 1325.9	0.6409 1352.3	0.6875 1389.6	0.7603 1448.5	0.8295 1505.4	0.9622 1618.4

*Abstracted from 1967 ASME Steam Tables, 1967 copyright, by permission of the publishers American Society of Mechanical Engineers.

TABLE 9 (Cont.)
PROPERTIES OF SUPERHEATED STEAM

Pressure Lbs. per Sq. in.		Sat. Temp. t		Total Temperature — Degrees Fahrenheit (t)										
Abs. p'	Gage p			660°	700°	740°	760°	780°	800°	860°	900°	1000°	1100°	1200°
1100.0	1085.3	556.28	\bar{v} hg	0.5106 1289.1	0.5440 1318.8	0.5751 1346.3	0.5900 1359.4	0.6046 1372.2	0.6188 1384.7	0.6600 1421.3	0.6865 1444.7	0.7505 1502.4	0.8121 1559.4	0.8723 1616.3
1200.0	1185.3	567.19	\bar{v} hg	0.4583 1280.2	0.4905 1311.5	0.5202 1340.1	0.5343 1353.7	0.5481 1366.8	0.5615 1379.7	0.6002 1416.9	0.6250 1440.9	0.6845 1499.4	0.7418 1556.9	0.7974 1614.2
1300.0	1285.3	577.42	\bar{v} hg	0.4137 1270.9	0.4451 1303.9	0.4736 1333.7	0.4871 1347.7	0.5002 1361.3	0.5129 1374.6	0.5495 1412.6	0.5729 1437.1	0.6287 1496.3	0.6822 1554.3	0.7341 1612.0
1400.0	1385.3	587.07	\bar{v} hg	0.3751 1261.1	0.4059 1296.1	0.4335 1327.2	0.4465 1341.7	0.4590 1355.7	0.4712 1369.3	0.5060 1408.3	0.5282 1433.2	0.5809 1493.2	0.6311 1551.8	0.6798 1609.9
1500.0	1485.3	596.20	\bar{v} hg	0.3412 1250.7	0.3717 1287.9	0.3986 1320.4	0.4111 1335.5	0.4232 1350.0	0.4350 1364.0	0.4683 1403.9	0.4894 1429.2	0.5394 1490.1	0.5869 1549.2	0.6327 1607.7
1600.0	1585.3	604.87	\bar{v} hg	0.3112 1239.6	0.3415 1279.4	0.3679 1313.4	0.3801 1329.1	0.3919 1344.1	0.4032 1358.5	0.4353 1399.4	0.4555 1425.2	0.5031 1487.0	0.5482 1546.6	0.5915 1605.6
1700.0	1685.3	613.13	\bar{v} hg	0.2841 1227.7	0.3147 1270.5	0.3407 1306.3	0.3527 1322.5	0.3641 1338.0	0.3751 1352.9	0.4061 1394.8	0.4255 1421.2	0.4711 1484.0	0.5140 1544.0	0.5552 1603.4
1800.0	1785.3	621.02	\bar{v} hg	0.2595 1214.9	0.2906 1261.1	0.3164 1298.8	0.3281 1315.8	0.3393 1331.9	0.3500 1347.2	0.3801 1390.2	0.3988 1417.1	0.4426 1480.8	0.4836 1541.4	0.5229 1601.2
1900.0	1885.3	628.56	\bar{v} hg	0.2369 1201.0	0.2687 1251.3	0.2945 1291.2	0.3061 1308.9	0.3171 1325.5	0.3275 1341.4	0.3568 1385.5	0.3749 1412.9	0.4171 1477.7	0.4565 1538.8	0.4940 1599.1
2000.0	1985.3	635.80	\bar{v} hg	0.2159 1185.7	0.2488 1240.9	0.2747 1283.2	0.2862 1301.7	0.2970 1319.0	0.3072 1335.4	0.3358 1380.7	0.3534 1408.7	0.3942 1474.1	0.4320 1536.2	0.4680 1596.9
2100.0	2085.3	642.76	\bar{v} hg	0.1959 1168.7	0.2304 1229.8	0.2566 1275.0	0.2680 1294.3	0.2787 1312.3	0.2888 1329.3	0.3167 1375.8	0.3339 1404.4	0.3734 1470.9	0.4099 1533.6	0.4445 1594.7
2200.0	2185.3	649.45	\bar{v} hg	0.1767 1149.4	0.2134 1218.0	0.2400 1266.4	0.2514 1286.7	0.2620 1305.5	0.2720 1323.1	0.2994 1370.9	0.3161 1400.0	0.3545 1467.6	0.3897 1530.9	0.4231 1592.5
2300.0	2285.3	655.89	\bar{v} hg	0.1576 1126.3	0.1975 1205.3	0.2247 1257.4	0.2361 1278.9	0.2467 1298.5	0.2566 1316.7	0.2835 1365.9	0.2999 1395.7	0.3372 1464.2	0.3714 1528.3	0.4035 1590.3
2400.0	2385.3	662.11	\bar{v} hg	—	0.1824 1191.6	0.2105 1248.1	0.2220 1270.7	0.2326 1291.2	0.2424 1310.1	0.2680 1360.7	0.2850 1391.2	0.3214 1460.9	0.3545 1525.6	0.3856 1588.1
2500.0	2485.3	668.11	\bar{v} hg	—	0.1681 1176.7	0.1972 1238.2	0.2089 1262.3	0.2195 1283.7	0.2293 1303.4	0.2555 1355.6	0.2712 1386.7	0.3068 1457.5	0.3390 1522.9	0.3672 1535.9
2600.0	2585.3	673.91	\bar{v} hg	—	0.1544 1160.2	0.1848 1227.8	0.1967 1253.5	0.2073 1276.0	0.2171 1296.5	0.2431 1350.3	0.2585 1382.1	0.2933 1454.1	0.3247 1520.2	0.3540 1583.7
2700.0	2685.3	679.53	\bar{v} hg	—	0.1411 1142.0	0.1731 1216.9	0.1852 1244.3	0.1960 1268.1	0.2058 1289.5	0.2315 1344.9	0.2468 1377.5	0.2809 1450.7	0.3114 1517.5	0.3399 1581.5
2800.0	2785.3	684.96	\bar{v} hg	—	0.1278 1121.2	0.1620 1205.3	0.1745 1234.7	0.1853 1259.8	0.1952 1282.2	0.2208 1339.5	0.2358 1372.8	0.2693 1447.2	0.2991 1514.8	0.3268 1579.3
2900.0	2885.3	690.22	\bar{v} hg	—	0.1133 1095.3	0.1515 1193.0	0.1643 1224.6	0.1754 1251.3	0.1853 1274.7	0.2108 1333.9	0.2256 1368.0	0.2585 1443.7	0.2877 1512.1	0.3147 1577.0
3000.0	2985.3	695.33	\bar{v} hg	—	0.0982 1060.5	0.1414 1179.8	0.1546 1214.0	0.1659 1242.4	0.1759 1267.0	0.2014 1328.3	0.2161 1363.2	0.2484 1440.2	0.2770 1509.4	0.3033 1574.8
3100.0	3085.3	700.28	\bar{v} hg	—	—	0.1317 1165.7	0.1455 1202.9	0.1570 1233.2	0.1671 1259.1	0.1926 1322.6	0.2071 1358.4	0.2390 1436.7	0.2670 1506.6	0.2927 1572.6
3200.0	3185.3	705.08	\bar{v} hg	—	—	0.1224 1150.6	0.1367 1191.2	0.1486 1223.6	0.158 1250.9	0.1843 1316.8	0.1987 1353.4	0.2301 1433.1	0.2576 1503.8	0.2827 1570.3

*Abstracted from 1967 ASME Steam Tables, 1967 copyright, by permission of the publishers American Society of Mechanical Engineers.

TABLE 12
 SPECIFIC GRAVITY OF VARIOUS LIQUIDS

	Temp. (°F)	Specific Gravity (Relative to Water at 60°F)		Temp. (°F)	Specific Gravity (Relative to Water at 60°F)
Acetaldehyde	68	.784	Ethylene Glycol	80	1.12
Acetic Acid	80	1.05	Freon, 11	80	1.47
Acetone	68	.790	Freon, 12	80	1.30
Alcohol, Allyl	68	.856	Freon, 21	80	1.36
Alcohol, Butyl	68	.811	Fuel Oil, #1	85	.95
Alcohol, Ethyl	68	.790	Fuel Oil, #2	85	.95
Alcohol, Methyl	68	.791	Fuel Oil, #3	115	.95
Alcohol, Propyl	68	.805	Fuel Oil, #5	115	.95
Ammonia (Anhydrous)	39	.63	Fuel Oil, #6	141	.95
Aniline	59	1.028	Gasoline	60	.713
Automotive Oil, SAE 10	115	.94	Glycerine, 100%	70	1.260
Automotive Oil, SAE 20	115	.94	Heptane - n	68	.684
Automotive Oil, SAE 30	115	.94	Hexane - n	68	.660
Automotive Oil, SAE 40	155	.94	Kerosene	85	.82
Automotive Oil, SAE 50	155	.94	Linseed Oil (Raw)	115	.940
Automotive Oil, SAE 60	155	.94	Methyl Acetate	68	.931
Automotive Oil, SAE 70	155	.94	Methyl Iodide	68	2.283
Automotive Oil, SAE 80	0	.94	Milk	68	1.05
Automotive Oil, SAE 90	170	.94			
Automotive Oil, SAE 250	130	.94	Naphthelene	68	1.146
Benzene	68	.880	Nitric Acid, 60%	68	1.378
Brine, CaCl 25%	32	1.239	Nitrobenzene	82	1.206
Brine, NaCl 25%	32	1.197	Nonane - n	68	.718
Butyric Acid - n	68	.960	Octane - n	68	.703
Carbolic Acid (Phenol)	80	1.07			
Carbon Disulphide	68	1.264	Olive Oil	68	.911
Carbon Tetrachloride	77	1.586	Propionic Acid	68	.993
Castor Oil	115	.962	Soybean Oil	115	.98
Chlorine	32	1.455	Trichloroethylene	80	1.46
Chloroform	77	1.481	Turbine Oil	115	.91
Diethyl Ether	68	.715	Turpentine	60	.869
Ethyl Acetate	68	.903	Water, Fresh	32	1.001
Ethyl Bromide	68	1.460	Water, Sea	60	1.03
Ethylene Bromide	68	2.183	Xylene - 0	80	.87
Ethylene Chloride	68	1.257			

TABLE 13
SPECIFIC GRAVITIES OF GASES

Gas	Formula	Molecular Weight M	Specific Gravity (Relative to Air) Sg	Gas	Formula	Molecular Weight M	Specific Gravity (Relative to Air) Sg
Acetylene	C ₂ H ₂	26.02	.800	Héxano	C ₆ H ₁₄	86.12	2.98
Air	—	28.97	1.0	Hydrogen	H ₂	2.02	.069
Allylene	C ₃ H ₄	40.0	1.38	Hydrogen Chloride	HCl	36.46	1.27
Ammonia	NH ₃	17.03	.59	Hydrogen Sulphide	H ₂ S	34.08	1.19
Argon	A	39.94	1.38	Isobutane	C ₄ H ₁₀	58.12	2.00
Benzene	C ₆ H ₆	78.05	2.69	Isopentane	C ₅ H ₁₂	72.19	2.50
Boron Fluoride	BF ₃	67.82	2.34	Krypton	Kr	83.70	2.89
Butane	C ₄ H ₁₀	58.08	2.00	Methane	CH ₄	16.03	.55
Butylene	C ₄ H ₈	56.06	1.94	Methyl Alcohol	CH ₃ OH	32.04	1.11
Carbon Dioxide	CO ₂	44.01	1.53	Methyl Amine	CH ₃ NH ₂	31.06	1.08
Carbon Disulphide	CS ₂	76.12	2.63	Methyl Chloride	CH ₃ Cl	50.48	1.74
Carbon Monoxide	CO	28.00	.97	Napthalene	C ₁₀ H ₈	128.06	4.42
Carbon Tetrachloride	CCl ₄	153.83	5.31	Neon	Ne	20.18	.70
Chlorine	Cl ₂	70.91	2.45	Nitric Oxide	NO	30.04	1.04
Chloroform	CHCl ₃	119.39	4.12	Nitrogen	N ₂	28.02	.97
Cyclohexane	C ₆ H ₁₂	84.16	2.91	Nitrous Oxide	N ₂ O	44.02	1.53
Dimethylamine	(CH ₃) ₂ NH	45.08	1.56	Octane	C ₈ H ₁₈	114.22	3.94
Ethane	C ₂ H ₆	30.05	1.05	Oxygen	O ₂	32	1.11
Ethyl Alcohol	C ₂ H ₅ OH	46.07	1.59	Ozone	O ₃	48	1.66
Ethyl Chloride	C ₂ H ₅ Cl	64.50	2.23	Pentane	C ₅ H ₁₂	72.10	2.50
Ethylene	C ₂ H ₄	28.03	.97	Propane	C ₃ H ₈	44.07	1.53
Fluorine	F ₂	38	1.31	Propyl Alcohol	C ₂ H ₇ OH	60.09	2.07
Freon - 11	CCl ₃ F	137.37	4.74	Propylene	C ₃ H ₆	42.05	1.45
12	CCl ₂ F ₂	120.94	4.17	Sulphur Dioxide	SO ₂	64.06	2.21
22	CHClF ₂	86.48	2.99	Sulphur Trioxide	SO ₃	80.06	2.76
Helium	He	4.00	.138	Xenon	Xe	131.30	4.53
Heptane	C ₇ H ₁₆	100.13	3.47	Xylene	C ₈ H ₁₀	106.16	3.66

TABLE 14

**THE WEIGHT (Density) OF AIR AT
VARIOUS PRESSURES AND TEMPERATURES¹**

Temp. of Air Deg. Fahr.	Gauge Pressure, in Pounds per Square Inch (Based on an Atmospheric Pressure of 14.7 Pounds per Square Inch Absolute at Sea Level)																					
	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	175	200	225	250	300
	Weight (Density), in Pounds per Cubic Foot																					
-20	.0900	.1205	.1515	.2125	.2744	.3360	.3970	.4580	.5190	.5800	.6410	.702	.7635	.825	.886	.948	1.010	1.165	1.318	1.465	1.625	1.930
-10	.0882	.1184	.1485	.2090	.2685	.3283	.3880	.4478	.5076	.5674	.6272	.687	.747	.807	.868	.928	.989	1.139	1.288	1.438	1.588	1.890
0	.0864	.1160	.1455	.2040	.2630	.3215	.3800	.4385	.4970	.5555	.6140	.672	.731	.790	.849	.908	.968	1.114	1.260	1.406	1.553	1.850
10	.0846	.1136	.1425	.1995	.2568	.3145	.3720	.4292	.4863	.5433	.6006	.658	.716	.774	.832	.889	.947	1.090	1.233	1.376	1.520	1.810
20	.0828	.1112	.1395	.1955	.2516	.3071	.3645	.4205	.4770	.5330	.5890	.645	.701	.757	.813	.869	.927	1.067	1.208	1.348	1.489	1.770
30	.0811	.1088	.1366	.1916	.2465	.3015	.3570	.4121	.4672	.5221	.5771	.632	.687	.742	.797	.852	.908	1.046	1.184	1.322	1.460	1.735
40	.0795	.1067	.1338	.1876	.2415	.2954	.3503	.4038	.4576	.5114	.5652	.619	.673	.727	.781	.835	.890	1.025	1.161	1.296	1.431	1.701
50	.0780	.1045	.1310	.1839	.2367	.2905	.3432	.3960	.4487	.5014	.5541	.607	.660	.713	.766	.819	.873	1.006	1.139	1.271	1.403	1.668
60	.0764	.1025	.1283	.1803	.2323	.2840	.3362	.3882	.4402	.4927	.5447	.596	.649	.700	.752	.804	.856	.988	1.116	1.245	1.376	1.636
70	.0750	.1005	.1260	.1770	.2280	.2791	.3302	.3808	.4316	.4824	.5332	.584	.635	.686	.737	.788	.839	.967	1.095	1.223	1.350	1.604
80	.0736	.0988	.1239	.1738	.2237	.2739	.3242	.3738	.4234	.4729	.5224	.572	.622	.673	.723	.774	.824	.949	1.074	1.199	1.325	1.573
90	.0723	.0970	.1218	.1707	.2195	.2688	.3182	.3670	.4154	.4639	.5122	.561	.611	.660	.709	.759	.809	.932	1.054	1.177	1.300	1.544
100	.0710	.0954	.1197	.1676	.2155	.2638	.3122	.3602	.4079	.4555	.5033	.551	.599	.648	.696	.745	.794	.914	1.035	1.155	1.276	1.517
110	.0698	.0937	.1176	.1645	.2115	.2593	.3070	.3542	.4011	.4481	.4950	.542	.589	.637	.685	.732	.780	.899	1.017	1.135	1.254	1.491
120	.0686	.0921	.1155	.1618	.2080	.2549	.3018	.3481	.3944	.4403	.4866	.533	.579	.626	.673	.720	.767	.884	1.001	1.118	1.234	1.465
130	.0674	.0905	.1135	.1590	.2045	.2505	.2966	.3426	.3884	.4342	.4800	.5257	.571	.616	.662	.708	.754	.869	.984	1.099	1.214	1.440
140	.0663	.0889	.1115	.1565	.2015	.2465	.2915	.3364	.3813	.4262	.4711	.516	.561	.606	.651	.696	.742	.855	.968	1.081	1.194	1.416
150	.0652	.0874	.1096	.1541	.1985	.2425	.2865	.3308	.3751	.4193	.4636	.508	.552	.596	.640	.685	.730	.841	.953	1.064	1.175	1.392
175	.0626	.0840	.1054	.1482	.1910	.2335	.2755	.3181	.3607	.4033	.4450	.488	.531	.573	.616	.658	.701	.808	.914	1.021	1.128	1.337
200	.0603	.0809	.1014	.1427	.1840	.2248	.2655	.3054	.3473	.3882	.4291	.470	.511	.552	.592	.633	.674	.776	.879	.982	1.084	1.287
225	.0581	.0779	.0976	.1373	.1770	.2163	.2555	.2949	.3344	.3738	.4129	.452	.491	.531	.570	.609	.649	.747	.846	.944	1.043	1.240
250	.0560	.0751	.0941	.1323	.1705	.2085	.2466	.2845	.3223	.3602	.3981	.436	.474	.513	.551	.589	.627	.722	.817	.912	1.007	1.197
275	.0541	.0726	.0910	.1278	.1645	.2011	.2378	.2745	.3111	.3478	.3844	.421	.458	.494	.531	.568	.605	.697	.789	.881	.972	1.155
300	.0523	.0707	.0881	.1237	.1592	.1945	.2300	.2654	.3008	.3362	.3716	.407	.442	.478	.513	.549	.585	.673	.762	.852	.940	1.118
350	.0491	.0658	.0825	.1160	.1495	.1828	.2160	.2492	.2824	.3156	.3488	.382	.415	.449	.482	.516	.549	.632	.715	.799	.883	1.048
400	.0463	.0621	.0779	.1090	.1405	.1720	.2035	.2348	.2661	.2974	.3287	.360	.391	.423	.454	.486	.517	.596	.674	.753	.831	.987
450	.0437	.0586	.0735	.1033	.1330	.1628	.1925	.2220	.2515	.2810	.3105	.340	.369	.399	.429	.458	.488	.562	.637	.711	.786	.934
500	.0414	.0555	.0696	.0978	.1260	.1540	.1820	.2100	.2380	.2660	.2940	.322	.351	.379	.407	.435	.463	.534	.604	.675	.746	.885
550	.0394	.0528	.0661	.0930	.1198	.1464	.1730	.1996	.2262	.2528	.2794	.306	.333	.359	.386	.413	.440	.507	.573	.641	.709	.841
600	.0376	.0504	.0631	.0885	.1140	.1395	.1650	.1904	.2158	.2412	.2668	.292	.317	.343	.368	.393	.419	.483	.547	.611	.675	.801

¹Reprinted from "Compressed Air Data" Fifth Edition. Courtesy of Ingersoll-Rand Company.

To determine the density (ρ) of air at pressures and temperatures not listed in the above table, use the following formula:

$$\rho = \frac{2.70P'}{T}$$

where P' and T is the pressure and temperature at which the density is desired.

To determine the density for other gases at the pressures and temperatures listed in the above table, multiply the density (ρ) from the table

by the specific gravity (Sg) of the gas. (Table 13)

To determine the density for other gases at pressures and temperatures not listed in the above table, use the following formula:

$$\rho = \frac{2.70P' Sg}{T}$$

where P' and T is the same as described above.

The densities in the table above were calculated from the perfect gas law.

CAÑERÍAS INDUSTRIALES (PIPING)

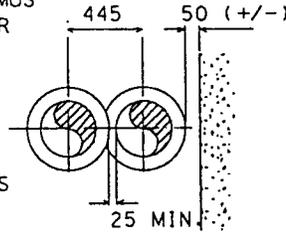
APÉNDICE C

**Tablas y gráficos para trazado de Cañerías
Distancia entre ejes - Distancia entre Soportes**

DISTANCIA ENTRE CAÑERIAS

IMPORTANTE !

ESTA TABLA PERMITE ESPACIAMIENTOS MINIMOS DE UNA PULG. ENTRE DOS CAÑOS SIN AISLAR ENTRANDO CON SU RATING RESPECTIVO (VER EJEMPLO). LA DIMENSION DEBE SER VERIFICADA E INCREMENTADA CUANDO SEA NECESARIO PARA CUBRIR LOS SIGUIENTES CASOS:



- A. EN CASO DE SER AISLADOS.
- B. CUANDO EXISTEN MOVIMIENTOS LATERALES POR MOVIMIENTOS DE DILATACION.
- C. POR MOVIMIENTOS DE DILATACION.
- D. CASO DE EXISTIR BRIDAS ORIFICIO.
- E. SI HAY ENCUENTRO DE DOS BRIDAS.

RELACION PRESION/TEMPERATURA DE AMBAS CAÑERIAS

Dist. caños 150/150#

FLANGE RATING →	CLASE 125 & 150																
	DIAM. NOM.	36	30	24	20	18	16	14	12	10	8	6	4	3	2	1.5	1
CLASE 125 & 150	1	635	533	457	394	368	343	318	292	254	216	191	165	140	127	114	102
	1.5	635	546	457	407	368	356	318	292	254	229	191	165	153	127	114	
	2	648	546	470	407	381	356	330	305	267	229	203	178	153	140		
	3	660	572	483	419	394	368	343	318	279	241	216	191	165			
	4	673	584	496	432	407	381	356	330	292	254	229	203				
	6	699	610	521	452	432	419	381	356	318	292	254					
	8	724	635	546	483	457	444	407	381	343	318						
	10	749	660	572	521	483	470	432	407	368							
	12	775	686	597	546	508	495	457	432								
	14	787	699	610	559	521	508	470									
	16	813	724	635	584	546	533										
	18	838	749	661	610	572											
	20	864	775	686	635												
	24	914	826	737													
	30	991	894														
	36	1067															

Dist. caños 300/300#

FLANGE RATING →		CLASE 300 & 400															
DIAM. NOM. ↓	36	30	24	20	18	16	14	12	10	8	6	4	3	2	1.5	1	
	1	686	597	508	432	406	368	343	305	267	241	203	178	152	127	127	114
1.5	686	597	508	445	406	381	343	317	279	241	216	178	165	140	140		
2	699	610	521	445	419	381	356	318	279	254	216	191	165	140			
3	711	622	533	457	432	394	368	330	292	267	229	203	178				
4	724	635	546	470	445	406	381	343	305	279	241	216					
6	749	660	572	495	470	445	406	381	343	305	267						
8	775	689	597	521	495	467	432	406	368	330							
10	800	711	622	560	520	495	457	432	394								
12	826	737	648	584	546	520	483	457									
14	838	750	660	597	560	535	495										
16	865	775	685	622	585	560											
18	890	800	711	650	610												
20	915	825	736	675													
24	965	876	790														
30	1040	953															
36	1120																

Dist. caños 600/600#

FLANGE RATING →		CLASE 600															
DIAM. NOM. ↓	36	30	24	20	18	16	14	12	10	8	6	4	3	2	1.5	1	
	1	700	610	520	457	420	395	355	330	305	267	230	190	152	127	127	114
1.5	710	622	520	457	420	395	355	330	305	267	230	190	165	140	140		
2	710	622	533	470	432	406	368	343	318	267	241	203	165	140			
3	737	635	546	483	445	420	381	356	330	280	254	216	178				
4	750	648	560	495	457	432	395	368	343	292	267	228					
6	775	673	585	520	483	457	420	395	368	330	292						
8	800	700	610	546	508	485	445	420	395	355							
10	825	737	635	572	535	508	470	445	420								
12	850	762	660	597	560	533	495	470									
14	865	775	673	610	585	546	508										
16	890	800	700	635	610	572											
18	915	825	725	660	635												
20	940	850	750	685													
24	990	900	800														
30	1070	980															
36	1145																

Dist. caños 150/300#

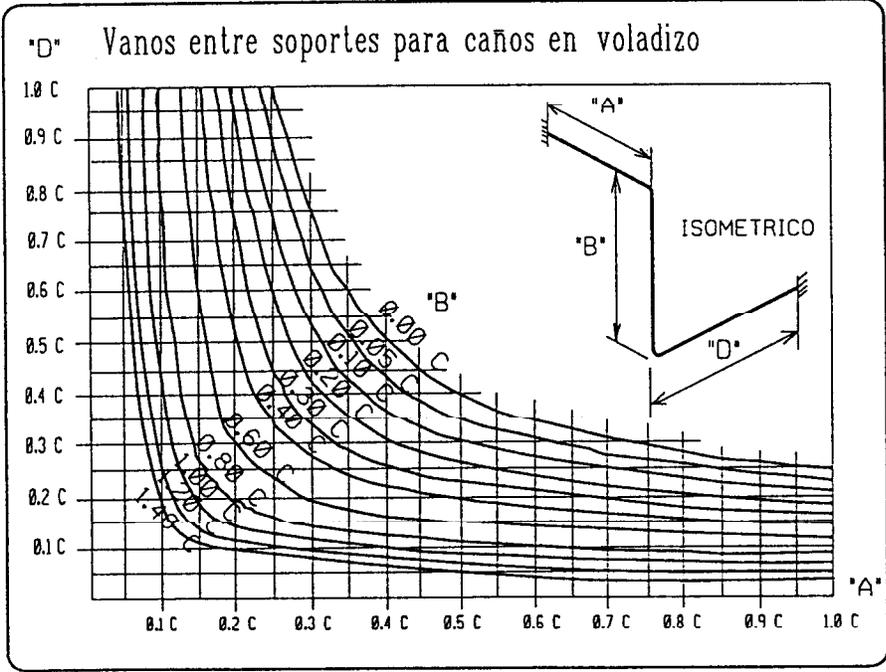
FLANGE RATING →		CLASE 300 & 400															
DIAM. NOM. ↓	36	30	24	20	18	16	14	12	10	8	6	4	3	2	1.5	1	
	1	686	597	508	432	407	368	343	305	268	241	204	178	153	127	127	114
1.5	686	597	508	445	407	381	343	318	280	241	216	178	165	140	140	114	
2	686	610	521	445	419	381	356	318	280	254	216	191	165	140	140	127	
3	711	622	533	457	432	394	368	330	292	267	229	203	178	152	152	140	
4	724	635	546	470	445	406	381	343	305	279	241	216	191	178	165	165	
6	749	660	572	495	470	445	406	381	343	305	279	241	216	203	191	191	
8	775	686	597	521	495	470	432	406	368	330	305	267	241	229	229	216	
10	800	711	622	559	521	495	457	432	394	356	330	292	279	267	254	254	
12	826	737	648	584	546	521	483	457	419	381	356	330	318	305	292	292	
14	838	749	660	597	559	533	495	470	432	406	381	356	343	330	318	318	
16	864	775	686	622	584	559	521	495	457	445	419	381	368	356	356	343	
18	889	800	711	648	610	584	546	521	483	457	432	406	394	381	368	368	
20	914	826	737	673	635	610	572	546	521	483	457	432	419	406	406	394	
24	965	876	787	724	686	660	622	597	572	546	521	495	483	470	457	457	
30	1041	953	861	800	762	737	699	686	635	610	584	559	546	521	521	508	
36	1118	1029	940	876	838	813	787	749	724	699	675	648	635	622	610	610	

Dist. caños 150/600#

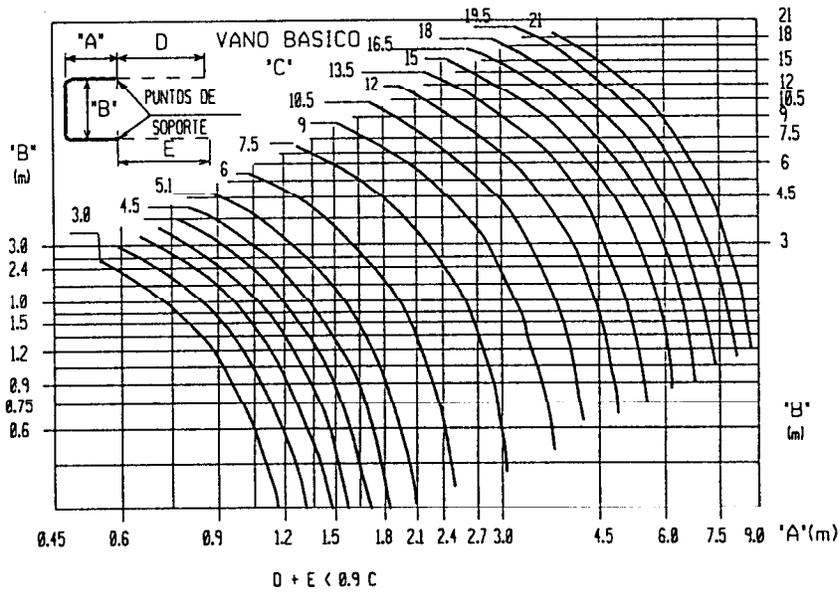
FLANGE RATING →		CLASE 600															
DIAM. NOM. ↓	36	30	24	20	18	16	14	12	10	8	6	4	3	2	1.5	1	
	1	699	610	521	457	419	394	356	330	305	254	229	191	152	127	127	114
1.5	711	622	521	457	419	394	356	330	305	267	229	191	165	140	140	114	
2	711	622	533	470	432	406	368	343	318	267	241	203	165	140	140	127	
3	737	635	546	483	445	419	381	356	330	279	254	216	178	153	153	140	
4	749	648	559	495	457	432	394	368	343	292	267	229	191	178	165	165	
6	775	673	584	521	483	457	419	394	368	330	292	254	216	203	191	191	
8	800	699	610	546	508	483	445	419	394	356	318	279	241	229	229	216	
10	826	737	635	572	533	508	470	445	419	381	343	305	279	267	254	254	
12	851	762	660	597	559	533	495	470	445	406	368	330	318	305	292	292	
14	864	775	673	610	584	546	508	483	457	419	381	356	343	330	318	318	
16	889	800	699	635	610	572	533	508	483	445	419	381	368	356	356	343	
18	914	826	724	660	635	597	559	533	508	470	432	406	394	381	368	368	
20	940	851	749	686	660	622	584	559	533	495	457	432	419	406	406	394	
24	991	902	800	737	711	673	635	610	584	546	521	495	483	470	457	457	
30	1067	978	876	813	787	749	711	686	660	635	610	584	572	546	546	533	
36	1143	1054	953	889	864	826	787	775	749	724	699	673	660	648	635	635	

Dist. caños 300/600#

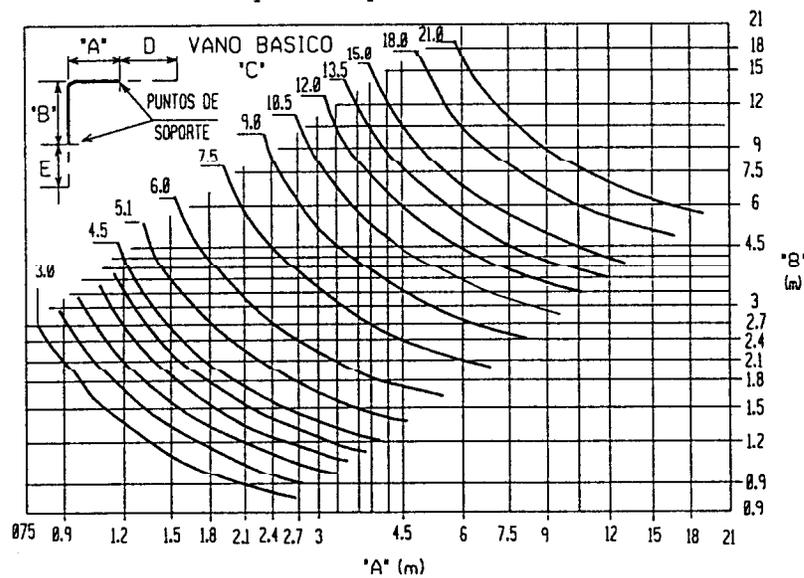
FLANGE RATING →		CLASE 600															
		DIAM. NOM.	36	30	24	20	18	16	14	12	10	8	6	4	3	2	1.5	1
CLASE 300 & 400	1	699	610	521	457	419	394	356	330	305	254	229	191	152	127	127	114
	1.5	711	622	521	457	419	394	356	330	305	267	229	191	165	140	140	127
	2	711	622	533	470	432	406	368	343	318	267	241	203	165	140	140	127
	3	737	635	546	483	445	419	381	356	330	279	254	216	178	165	153	152
	4	749	648	559	495	457	435	394	368	343	292	267	229	203	178	165	178
	6	775	673	584	521	483	457	419	394	368	330	292	254	229	216	191	203
	8	800	699	610	546	508	483	445	419	394	356	318	279	267	241	229	241
	10	826	737	635	572	533	508	470	445	419	381	343	305	292	279	254	267
	12	851	762	660	597	559	533	495	470	445	406	381	343	330	318	292	305
	14	864	775	673	610	584	546	508	483	457	432	406	381	368	343	318	343
	16	889	800	699	635	610	572	533	521	495	470	445	406	394	381	356	368
	18	914	826	724	660	635	597	559	546	521	495	470	445	432	406	368	406
	20	940	851	749	686	660	622	597	584	559	521	495	470	457	445	406	432
	24	991	902	800	737	711	686	660	648	622	597	572	546	533	508	457	508
	30	1067	978	876	826	800	775	749	737	711	686	660	635	622	597	546	597
	36	1143	1054	965	914	889	864	838	826	800	775	749	711	673	686	635	686



Vanos entre soportes para caños en voladizo



Vanos entre soportes para caños en voladizo



Dist. entre caños a 45° - DIMENSION "A"

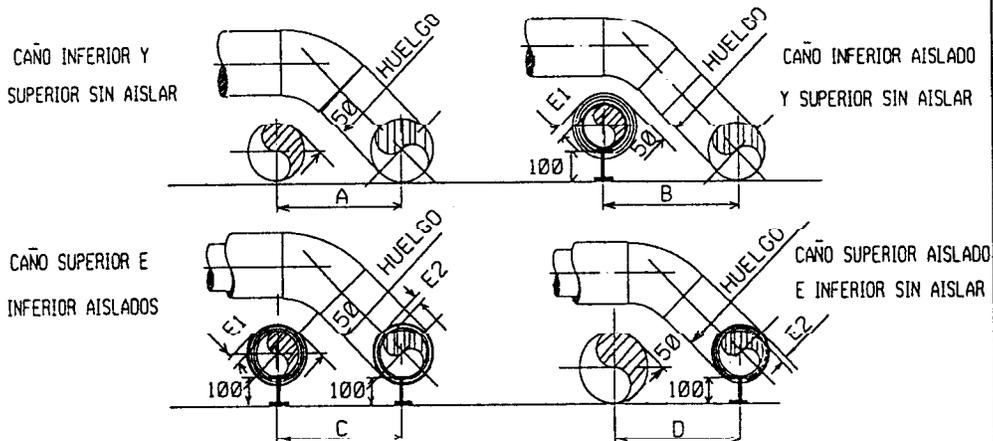
$$B = A + 100 + E1 \sqrt{2}$$

$$C = A + (E1 + E2) \sqrt{2}$$

$$D = A - 100 + E2 \sqrt{2}$$

DIAMETRO NOMINAL	CAÑO SUPERIOR															
	1	1.5	2	2.5	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24	
CAÑO INFERIOR	1	118	121	124	126	130	135	146	155	168	178	185	195	206	217	238
	1.5	136	139	142	144	148	153	164	175	186	196	203	214	224	235	256
	2	151	154	156	159	162	168	179	189	200	211	218	228	239	249	270
	2.5	166	169	172	174	178	183	194	205	216	226	233	243	254	264	286
	3	185	188	191	194	197	202	213	224	235	245	252	263	273	284	305
	4	216	219	222	224	227	233	244	254	266	276	283	293	304	314	335
	6	281	284	287	289	293	298	309	320	331	341	348	358	369	379	400
	8	342	346	348	351	354	358	370	381	392	403	409	420	430	441	462
	10	407	411	413	416	419	424	436	446	457	468	474	485	495	506	527
	12	469	472	475	478	480	486	479	507	519	529	536	546	557	567	589
	14	509	510	513	515	519	524	535	546	557	567	574	585	595	606	627
	16	568	573	574	577	580	585	597	607	618	629	635	646	656	667	688
	18	630	633	635	638	641	647	658	668	680	690	697	708	718	728	749
	20	691	694	697	699	703	708	719	730	741	751	758	768	779	790	811
	24	814	817	819	822	825	831	842	852	864	874	882	897	902	912	933

Distancia entre caños a 45°



Vanos entre soportes de Cañerías
Dentro de los límites de Proceso

ONSITE INSTRUCCIONES

- 1.- LOS VANOS BASICOS DE LA TABLA ESTAN DADOS EN METROS, PARA CAÑOS RECTOS Y SIN ACCESORIOS. PARA CONFIGURACIONES ESPECIALES DEBEN CONSULTARSE LAS CURVAS DE LAS PAGINAS SIGUIENTES Y EFECTUAR LAS CORRECCIONES CORRESPONDIENTES.
- 2.- TODOS LOS VANOS ESTAN LIMITADOS POR LA FLECHA SALVO LOS SUBRAYADOS, QUE ESTARAN LIMITADOS POR LA TENSION.
- 3.- PARA LOS VANOS RESALTADOS ES NECESARIO REFUERZO EN LOS PUNTOS DE APOYO.
- 4.- TODOS LOS VANOS FUERON CALCULADOS PARA AC. A53 GR.B O EQUIV. PARA OTROS MATERIALES DE MENOR RESISTENCIA LOS VANOS DEBERAN SER MENORES.
- 5.- LOS VANOS DE LA TABLA SON ADECUADOS P/UN SOBREESESOR DE CORROSION DE 2.5 MM; PARA VALORES DE SOBREESESOR MENOR LOS VANOS SERAN MENORES.
- 6.- LOS HISHOS VANOS PODRAN SER EMPLEADOS PARA ESPESORES MAYORES A LOS INDICADOS EN LA TABLA.
- 7.- LOS VANOS DE LA TABLA NO SE APLICAN A CAÑOS SUJETOS A VIBRACIONES U OTROS ESFUERZOS DINAMICOS VIOLENTOS.
- 8.- LOS CAÑOS PARA GASES PODRAN NECESITAR SOPORTES ADICIONALES PROVISORIOS PARA LA PRUEBA HIDRAULICA.

Vanos entre soportes de Cañerías

ONSITE

D.N.	3/4	1	1-1/2	2	2-1/2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24															
SCH.	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.2	40.2	38.1	38.1	38.1	38.1	38.1	38.1															
CAÑOS CON AISLACION TERMICA																															
TEMP. MAX. (°C)																															
LIQUIDOS																															
HASTA 180°	3	4	4	4	5	5	5	6	6	7	7	8	9	9	10	11	11	12	12	12	13	13	13	13	14	14	15	15	16		
180° A 320°	3	3	4	4	5	5	5	5	6	6	6	7	7	8	9	10	10	11	11	12	12	12	13	13	13	14	14	14	15		
320° A 400°	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	8	9	9	10	10	11	11	12	11	12	12	13	12	13	12	14	13	15
TEMP. MAX. (°C)																															
GASES																															
HASTA 180°	4	4	4	4	5	5	6	7	7	7	8	8	10	10	12	12	13	13	14	14	15	15	16	16	17	17	18	18	20	20	
180° A 320°	3	3	4	4	5	5	5	6	6	6	7	8	8	9	10	11	11	13	13	14	14	15	15	16	16	17	17	17	19	19	
320° A 400°	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	7	7	9	9	10	11	12	12	13	13	13	14	14	15	15	16	16	17	18	18
CAÑOS SIN AISLACION TERMICA (Temp. max. = 180°C)																															
LIQUIDOS	4	4	4	4	5	5	6	6	6	7	7	8	8	9	9	10	11	12	12	12	13	12	13	12	14	14	15	14	15	16	
GASES	4	4	5	5	6	6	6	7	8	8	8	9	9	10	11	12	12	14	14	15	15	16	16	17	17	18	18	19	19	21	21

**CAÑERÍAS
INDUSTRIALES
(PIPING)**

APÉNDICE D
Tablas y gráficos para el cálculo de
Tensiones en Cañerías de Alta Temperatura

5. TUBOS DE AÇO – DIMENSÕES NORMALIZADAS
 5.1. Tubos de Acordo com as Normas ANSI B.36.10 e B.36.19

Dimensões normalizadas e principais características físicas para os diâmetros e espessuras mais usuais dos tubos de aço, de acordo com as normas ANSI B.36.10 (para tubos de aço-carbono e aços de baixa liga), e ANSI B.36.19 (para tubos de aços inoxidáveis)
 (V. Notas na página 19)

Diâmetro nominal (pol.) – Diâmetro externo (mm)	Designação de espessura (v. Nota 2)	Espessura de parede (mm) (v. Nota 3)	Diâmetro interno (mm)	Área de secção livre (cm ²)	Área de secção de metal (cm ²)	Superfície externa (m ² /m)	Peso aprox. (kg/m)		Momento de inércia (cm ⁴)	Momento resistente (cm ³)	Raio de giração (cm)			
							Tubo vazio (v. Nota 5)	Conteúdo de água (v. Nota 6)						
1/4 – 13,7	10S	1,65	10,4	0,85	0,62	0,043	0,49	0,085	0,116	0,169	0,430			
	Std, 40, 40S	2,23	9,2	0,67	0,81		0,62	0,067				0,138	0,202	0,413
	XS, 80, 80S	3,02	7,7	0,46	1,01		0,79	0,046				0,157	0,229	0,393
3/8 – 17,1	10S	1,65	13,8	1,50	0,81	0,054	0,63	0,150	0,236	0,285	0,551			
	Std, 40, 40S	2,31	12,5	1,23	1,08		0,84	0,123				0,304	0,354	0,531
	XS, 80, 80S	3,20	10,7	0,91	1,40		1,10	0,090				0,359	0,419	0,506
1/2 – 21	Std, 40, 40S	2,77	15,8	1,96	1,61	0,071	0,42	0,20	0,71	0,67	0,66			
	XS, 80, 80S	3,73	13,8	1,51	2,06		1,62	0,15				0,84	0,78	0,64
	160	4,75	11,8	1,10	2,47		1,94	0,11				0,92	0,86	0,61
	XXS	7,47	6,4	0,32	3,52		2,55	0,03				1,01	0,95	0,56
3/4 – 27	Std, 40, 40S	2,87	20,9	3,44	2,15	0,083	1,68	0,34	1,54	1,16	0,85			
	XS, 80, 80S	3,91	18,8	2,79	2,80		2,19	0,28				1,86	1,40	0,82
	160	5,54	15,6	1,91	3,68		2,88	0,19				2,19	1,65	0,77
	XXS	7,82	11,0	0,95	4,63		3,63	0,10				2,41	1,81	0,72
1 – 33	Std, 40, 40S	2,87	26,6	5,57	3,19	0,105	2,50	0,56	2,64	2,18	1,07			
	XS, 80, 80S	4,55	24,3	4,64	4,12		3,23	0,46				4,40	2,63	1,03
	160	6,35	20,7	3,37	5,39		4,23	0,34				5,21	3,12	0,98
	XXS	9,09	15,2	1,82	6,94		5,44	0,18				5,85	3,50	0,92
1 1/4 – 42	Std, 40, 40S	3,56	35,0	9,65	4,32	0,132	3,38	0,96	8,11	3,85	1,37			
	XS, 80, 80S	4,85	32,5	8,28	5,68		4,46	0,83				10,06	4,77	1,33
	160	6,35	29,4	6,82	7,14		5,60	0,68				11,82	5,61	1,29
	XXS	9,70	22,7	4,07	9,90		7,76	0,41				14,19	6,74	1,20
1 1/2 – 48	Std, 40, 40S	3,68	40,8	13,1	5,15	0,151	4,04	1,31	12,90	5,34	1,58			
	XS, 80, 80S	5,08	38,1	11,4	6,89		5,40	1,14				16,27	6,75	1,54
	160	7,14	33,9	9,07	9,22		7,23	0,91				20,10	8,33	1,48
	XXS	10,16	27,9	6,13	12,2		9,53	0,61				23,64	9,80	1,39
2 – 60	Std, 40, 40S	3,91	52,5	21,7	6,93	0,196	5,44	2,17	27,72	9,20	2,00			
	XS, 80, 80S	5,54	49,2	19,0	9,53		7,47	1,90				36,13	11,98	1,95
	160	8,71	42,9	14,4	14,1		11,08	1,44				48,41	16,05	1,85
	XXS	11,07	38,2	11,4	17,1		13,44	1,14				54,61	18,10	1,79
2 1/2 – 73	Std, 40, 40S	5,16	62,7	30,9	11,0	0,235	8,62	3,09	63,68	17,44	2,41			
	XS, 80, 80S	7,01	59,0	27,3	14,5		11,40	2,73				80,12	21,95	2,35
	160	9,52	54,0	22,9	19,0		14,89	2,29				97,94	26,83	2,27
	XXS	14,0	44,9	15,9	26,0		20,39	1,59				119,5	32,75	2,14
3 – 89	10S	3,05	82,8	53,9	8,22	0,282	6,44	5,39	75,84	17,06	3,04			
	Std, 40, 40S	5,48	77,9	47,7	14,4		11,28	4,77				125,70	28,26	2,96
	XS, 80, 80S	7,62	73,6	42,6	19,5		15,25	4,26				162,33	36,48	2,89
	160	11,1	66,7	34,9	27,2		21,31	3,49				209,36	47,14	2,78
XXS	15,2	58,4	26,8	35,3	27,65	2,68	249,32	56,72	2,66					
4 – 114	10S	3,05	108,2	91,9	10,6	0,361	8,35	9,19	164,83	28,88	3,93			
	Std, 40, 40S	6,02	102,3	82,1	20,4		16,06	8,21				300,93	52,61	3,84
	XS, 80, 80S	8,56	97,2	74,2	28,4		22,29	7,42				399,99	69,99	3,75
	160	13,5	87,3	59,9	42,7		33,49	5,99				552,34	96,70	3,60
XXS	17,1	80,1	50,3	52,3	40,98	5,03	636,42	111,29	3,49					
6 – 168	10S	3,40	161,4	204,5	17,6	0,535	13,82	20,45	599,37	71,30	5,83			
	Std, 40, 40S	7,11	154,0	186,4	36,0		28,23	18,64				1.171,3	139,32	5,70
	XS, 80, 80S	10,97	146,3	168,2	54,2		42,51	16,82				1.685,7	200,45	5,58
	120	14,3	139,7	153,4	69,0		54,15	15,34				2.064,5	245,52	5,47
	160	18,2	131,8	136,4	86,0		67,41	13,64				2.455,8	291,91	5,34
	XXS	21,9	124,4	121,5	100,9		79,10	12,15				2.759,6	328,29	5,23

5. TUBOS DE AÇO – DIMENSÕES NORMALIZADAS
 5.1. Tubos de Acordo com as Normas ANSI B. 36.10 e 36.19 (continuação)

Diâm. nominal (pol.) — Diâm. externo (mm)	Designação de espessura (v. Nota 2)	Espessura de parede (mm) (v. Nota 3)	Diâm. interno (mm)	Área de seção livre (cm ²)	Área de seção de metal (cm ²)	Superf. externa (m ² /m)	Peso aprox. (kg/m)		Momento de inércia (cm ⁴)	Momento resistente (cm ³)	Raio de gição (cm)
							Tubo vazio (v. Nota 5)	Conteúdo de água (v. Nota 6)			
8 — — 219	10S	3,76	211,5	351,6	25,4	0,692	19,93	35,16	1.473,4	134,56	7,62
	Std, 40, 40S	8,18	202,7	322,6	54,2		42,48	32,26	3.017,7	275,52	7,46
	60	10,3	198,4	309,1	67,6		53,03	30,91	3.696,1	337,31	7,39
	XS, 80, 80S	12,7	193,7	294,8	82,3		64,56	29,48	4.399,5	401,88	7,31
	120	18,2	182,6	261,9	115,1		90,22	26,19	5.852,2	534,31	7,13
10 — — 273	5S	3,40	266,2	556,8	29,2	0,858	22,54	55,68	2.651,4	194,22	9,53
	10S	4,19	264,7	550,3	35,4		27,83	55,03	3.200,8	234,38	9,50
	Std, 40, 40S	9,27	254,5	509,1	76,8		60,23	50,91	6.692,9	490,06	9,32
	XS, 60, 80S	12,7	247,6	481,9	103,9		81,45	48,19	8.824,1	645,77	9,22
	80	15,1	242,9	463,2	122,1		95,72	46,32	10.193	747,38	9,14
12 — — 324	5S	4,19	315,5	782,0	42,1	1,018	29,11	78,20	5.377,7	332,23	11,30
	10S	4,57	314,7	778,1	45,9		36,00	77,81	5.848,0	361,07	11,28
	Std, 20	6,35	311,1	760,7	63,5		57,10	76,07	7.987,5	493,34	11,23
	40S	9,52	304,8	729,6	94,1		73,74	72,96	11.675	717,88	11,13
	XS, 40	10,3	303,2	722,0	101,5		79,65	72,20	12.487	771,97	11,10
14 — — 356	10S	4,57	342,9	923,3	69,7	1,118	54,62	92,33	10.630	598,24	12,34
	Std, 30	9,52	336,5	889,7	103,5		81,20	88,97	15.525	873,59	12,24
	40	11,1	333,4	872,9	120,1		94,29	87,29	17.856	1.003,1	12,19
	XS, 60	12,7	330,2	856,2	136,8		107,3	85,62	20.145	1.132,5	12,14
	80	15,1	325,5	832,3	161,2		128,3	83,23	23.392	1.316,1	12,04
16 — — 406	10S	4,57	393,7	1.217,5	79,8	1,277	62,57	121,7	15.983	786,72	14,15
	Std, 30	9,52	387,3	1.178,1	118,8		93,12	117,8	23.392	1.152,2	14,05
	40	12,7	381,0	1.140,1	157,1		123,2	114,0	30.468	1.499,7	13,92
	XS, 60	16,6	373,1	1.093,0	203,9		159,9	109,3	38.834	1.911,1	13,79
	80	21,4	363,6	1.038,1	258,7		203,0	103,8	48.158	2.370,0	13,64
18 — — 457	10S	4,57	444,5	1.551,7	89,9	1,438	70,52	155,2	22.851	999,79	15,95
	Std, 30	9,52	438,1	1.507,8	133,9		105,0	150,8	33.589	1.468,5	15,82
	40	12,7	431,8	1.464,6	177,4		139,0	146,5	43.829	1.917,6	15,72
	XS, 60	14,3	428,6	1.443,3	198,7		155,9	144,3	48.782	2.133,9	15,67
	80	19,0	419,1	1.379,4	261,9		205,8	137,9	63.059	2.758,4	15,49
20 — — 508	10S	4,57	495,3	1.926,6	100,1	1,597	78,46	192,7	31.509	1.240,7	17,73
	Std, 30	9,52	488,9	1.877,5	149,2		116,9	187,7	46.368	1.825,8	17,63
	40	12,7	482,6	1.829,1	197,4		154,9	182,9	60.645	2.388,0	17,53
	XS, 60	15,1	477,9	1.793,6	233,5		182,9	179,4	70.926	2.792,9	17,42
	80	20,6	466,7	1.711,1	315,5		247,6	171,1	93.943	3.699,2	17,25
24 — — 610	10S	4,57	596,9	2.800,2	120,3	1,914	94,35	280,0	54.776	1.796,3	21,34
	Std, 30	9,52	590,5	2.742,1	179,5		140,8	274,2	80.873	2.482,8	21,21
	40	12,7	584,2	2.677,8	238,1		188,7	287,8	106.139	2.653,5	21,11
	XS, 60	17,4	574,7	2.593,7	324,5		254,7	269,4	142.351	4.674,4	20,96
	80	24,8	560,4	2.464,6	451,6		354,3	246,5	193.547	6.359,3	20,70
30 — — 762	10S	4,57	746,1	4.374,4	187,7	2,393	147,2	437,4	133.609	3.507,5	26,67
	Std, 30	12,7	736,6	4.264,8	298,7		234,4	426,5	209.779	5.507,0	26,49
	40	15,9	730,2	4.187,3	371,6		291,8	418,7	258.895	6.801,8	26,39

- Notas:
1. A norma ANSI B. 36.19 só abrange tubos até o diâmetro nominal de 12".
 2. As designações "Std", "XS" e "XXS" correspondem às espessuras denominadas "normal", "extra-forte", e "duplo extra-forte" da norma ANSI B. 36.10. As designações 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 e 160 são os "números de série" (schedule number) dessa mesma norma. As designações 5S, 10S, 20S, 40S e 80S são da norma ANSI B. 36.19.
 3. As espessuras em mm indicadas na tabela são os valores nominais; as espessuras mínimas correspondentes dependerão das tolerâncias de fabricação, que variam com o processo de fabricação do tubo. Para tubos sem costura a tolerância usual é ± 12,5% do valor nominal.
 4. Nesta tabela estão omitidos alguns diâmetros e espessuras não usuais na prática. Para a tabela completa, contendo todos os diâmetros e espessuras, consulte as normas ANSI B. 36.10 e ANSI B. 36.19.
 5. Os pesos indicados nesta tabela correspondem aos tubos de aço-carbono ou de aço de baixa liga. Os tubos de aço inoxidáveis ferríticos pesam cerca de 5% menos, e os de inoxidáveis austeníticos cerca de 2% mais.
 6. Esses mesmos números representam também a vazão em l/seg. para a velocidade de 1 m/seg.

5. TUBOS DE AÇO – DIMENSÕES NORMALIZADAS

5.2. Tubos de Acordo com as Normas API-5L, API-5LX e API-5LS

(v. Notas na pág. 22).

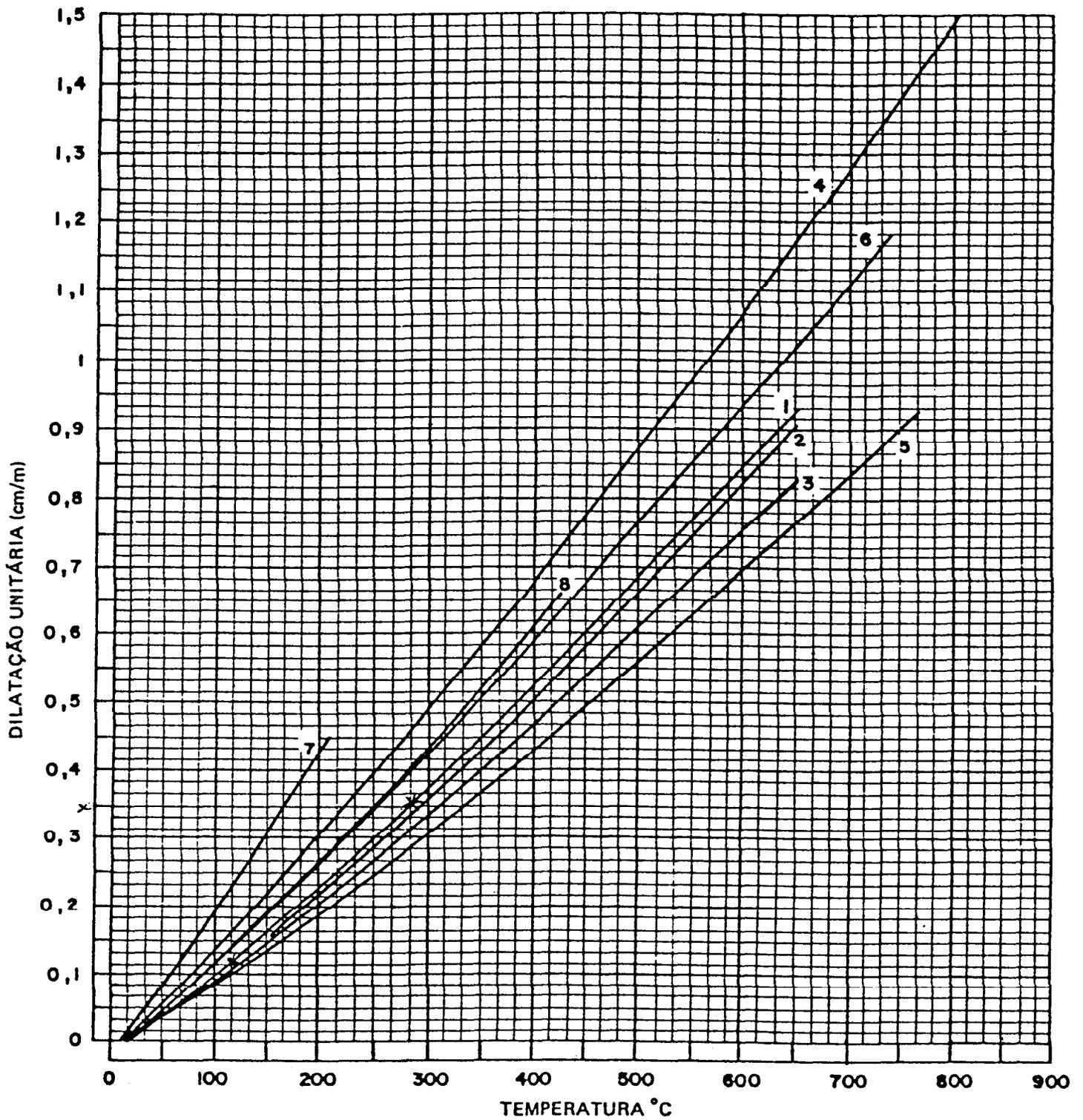
Diâm. nominal (pol.) - Diâm. externo (mm)	Espessura (mm) v. Nota 2	Diâm. interno (mm)	Peso (kg/m) Tubo vazio v. Nota 3	Diâm. nominal (pol.) - Diâm. externo (mm)	Espessura (mm) v. Nota 2	Diâm. interno (mm)	Peso (kg/m) Tubo vazio v. Nota 3	Diâm. nominal (pol.) - Diâm. externo (mm)	Espessura (mm) v. Nota 2	Diâm. interno (mm)	Peso (kg/m) Tubo vazio v. Nota 3
2 - 60,3	3,9	52,5	5,42	8 - 219,1	12,7	193,7	64,84	16 - 406,4	14,3	377,8	138,27
	4,4	51,5	8,07		14,3	190,5	72,22		15,9	374,8	153,11
	4,8	50,7	6,57		15,9	187,3	79,87		17,5	371,4	167,83
	5,5	49,3	7,43		18,3	182,5	90,82		19,1	368,2	182,42
	6,4	47,5	8,51		19,1	180,9	94,20		20,6	365,2	195,98
	7,1	46,1	9,31		20,6	177,9	100,84		22,2	362,0	210,33
	11,1	38,1	13,47		22,2	174,7	107,79		23,8	358,8	224,55
									25,4	355,6	238,64
2½ - 73,0	4,0	65,0	6,81	10 - 273,1	5,6	261,9	36,94	18 - 457,0	7,9	441,2	87,49
	4,4	64,2	7,44		6,4	260,3	42,09		8,7	439,6	96,18
	4,8	63,4	8,07		7,1	258,9	46,57		9,5	438,0	104,84
	5,2	62,6	8,69		7,8	257,5	51,03		10,3	436,4	113,46
	5,5	62,0	9,16		8,7	255,7	56,72		11,1	434,8	122,05
	6,4	60,2	10,51		9,3	254,5	60,50		11,9	433,2	130,62
	7,0	59,0	11,39		11,1	250,9	71,72		12,7	431,6	139,15
	14,0	45,0	20,37		14,3	244,5	91,26		14,3	428,4	156,11
3 - 88,9	4,4	80,1	9,17	12 - 323,9	15,9	241,3	100,85	20 - 508,0	15,9	425,2	172,95
	4,8	79,3	9,95		18,3	236,5	114,99		17,5	422,0	189,67
	5,5	77,9	11,31		20,6	231,9	128,27		19,1	418,8	206,25
	6,4	76,1	13,02		22,2	228,7	137,36		20,6	415,8	221,69
	7,1	74,7	14,32		23,8	225,5	146,30		22,2	412,6	238,03
	7,6	73,7	15,24		25,4	222,3	155,15		23,8	409,4	254,25
	15,2	58,5	27,63						25,4	406,2	270,34
									27,0	403,0	286,30
									28,6	399,8	302,14
4 - 114,3	4,4	105,6	11,92	14 - 355,6	6,4	311,1	50,11	22 - 559,0	7,9	492,2	97,43
	4,8	104,7	12,96		7,1	309,7	55,47		8,7	490,6	107,12
	5,2	103,9	13,99		7,9	308,1	61,56		9,5	489,0	116,78
	5,6	103,1	15,01		8,4	307,1	65,35		10,3	487,4	126,41
	6,0	102,3	16,02		8,7	306,5	67,82		11,1	485,8	136,01
	6,4	101,6	17,03		9,5	304,9	73,65		11,9	484,2	145,58
	7,1	100,1	18,77		10,3	303,3	79,65		12,7	482,6	155,12
	7,9	98,5	20,73		11,1	301,7	85,62		14,3	479,4	174,10
	8,6	97,1	22,42		12,7	298,5	97,46		15,9	476,2	192,95
	11,1	92,1	28,26		14,3	295,3	109,18		17,5	473,0	211,68
	13,5	87,3	33,56		15,9	292,1	120,76		19,1	469,8	230,27
	17,1	80,1	40,99		17,5	288,9	132,23		20,6	466,8	247,60
6 - 168,3	4,4	159,5	17,78	16 - 406,4	19,1	285,7	143,56	22 - 559,0	23,8	460,4	284,18
	4,8	158,7	19,35		20,6	282,7	154,08		25,4	457,2	302,28
	5,2	157,9	20,91		22,2	279,5	165,17		27,0	454,0	320,26
	5,6	157,1	22,47		23,8	276,3	176,13		28,6	450,8	338,11
	6,4	155,5	25,55		25,4	273,1	186,97		30,2	447,6	355,83
	7,1	154,1	28,22						31,8	444,4	373,43
	7,9	152,5	31,25		7,9	339,8	67,74		7,9	543,2	107,36
	8,7	150,9	34,24		8,7	336,2	74,42		8,7	541,6	118,06
	9,5	149,3	37,20		9,5	336,6	81,08		9,5	540,0	128,73
	11,0	146,3	42,67		10,3	335,0	87,71		10,3	538,4	139,37
	12,7	142,9	48,73		11,1	333,4	94,30		11,1	536,8	149,97
	14,3	139,7	54,31		11,9	331,8	100,86		11,9	535,2	160,55
	15,9	136,5	59,76		12,7	330,2	107,39		12,7	533,6	171,09
	18,3	131,7	67,69		14,3	327,0	120,36		14,3	530,4	192,08
	19,1	130,1	70,27		15,9	323,8	133,19		15,9	527,2	212,95
	22,2	123,9	79,98		17,5	320,6	145,91		17,5	524,0	233,68
8 - 219,1	4,8	209,5	25,37	18 - 457,0	19,1	317,4	158,49	22 - 559,0	19,1	520,8	254,20
	5,2	208,7	27,43		20,6	314,4	170,18		20,6	517,8	273,51
	5,6	207,9	29,48		22,2	311,2	182,52		22,2	514,6	293,87
	6,4	206,3	33,57		23,8	308,0	194,74		23,8	511,4	314,11
	7,0	205,1	36,61						25,4	508,2	334,23
	7,9	203,3	41,14						27,0	505,0	354,22
	8,2	202,7	42,65		7,9	390,6	77,83		7,9	543,2	107,36
	8,7	201,7	45,14		8,7	389,0	85,32		8,7	541,6	118,06
	9,5	200,1	49,10		9,5	387,4	92,98		9,5	540,0	128,73
	11,1	196,9	56,94		10,3	385,8	100,61		10,3	538,4	139,37
					11,1	384,2	108,20		11,1	536,8	149,97
					11,9	382,6	116,77		11,9	535,2	160,55
					12,7	381,0	123,30		12,7	533,6	171,09

5. TUBOS DE AÇO – DIMENSÕES NORMALIZADAS

5.2. Tubos de Acordo com as Normas API-5L, API-5LX e API-5LS (continuação)

(v. Notas na pág. 22).

Diâm. nominal (pol.) – Diâm. externo (mm)	Espessura (mm) v. Nota 2	Diâm. interno (mm)	Peso (kg/m) Tubo vazio v. Nota 3	Diâm. nominal (pol.) – Diâm. externo (mm)	Espessura (mm) v. Nota 2	Diâm. interno (mm)	Peso (kg/m) Tubo vazio v. Nota 3	Diâm. nominal (pol.) – Diâm. externo (mm)	Espessura (mm) v. Nota 2	Diâm. interno (mm)	Peso (kg/m) Tubo vazio v. Nota 3
22 – 559,0	28,6	501,8	374,08	30 – 762,0	11,1	739,8	205,54	36 – 914,0	14,3	885,4	317,27
	30,2	498,6	393,81		11,9	738,2	220,12		15,9	882,2	352,14
	31,8	495,4	413,42		12,7	736,6	234,67		17,5	879,0	386,88
	7,9	594,2	117,30		14,3	733,4	263,67		19,1	875,8	421,50
	8,7	592,6	129,00		15,9	730,2	292,54		20,6	872,8	453,84
	9,5	591,0	140,68		17,5	727,0	321,29		22,2	869,6	488,22
	10,3	589,4	152,32		19,1	723,8	349,91		23,8	866,4	522,47
	11,1	587,8	163,93		20,6	720,8	376,63		25,4	863,2	556,59
	11,9	586,2	175,51		22,2	717,6	405,00		27,0	860,0	590,58
	12,7	584,6	187,06		23,8	714,4	433,26		28,6	856,8	624,45
	14,3	581,4	210,07		25,4	711,2	461,38		30,2	853,6	658,19
	15,9	578,2	232,94		27,0	708,0	489,38		31,8	850,4	691,81
17,5	575,0	255,69	28,6	704,8	517,25	38 – 965,0	7,9	949,2	186,46		
19,1	571,8	278,32	30,2	701,6	544,99		8,7	947,6	205,17		
20,6	568,8	299,41	31,8	698,4	572,61		9,5	946,0	223,84		
22,2	565,6	321,79	7,9	797,2	166,84		10,3	944,4	242,49		
23,8	562,4	344,05	8,7	795,6	172,56		11,1	942,8	261,11		
25,4	559,2	366,17	9,5	794,0	188,24		11,9	941,2	279,69		
27,0	556,0	388,17	10,3	792,4	203,88		12,7	939,6	298,24		
28,6	552,8	410,05	11,1	790,8	219,50		14,3	936,4	335,25		
30,2	549,6	431,80	11,9	789,2	235,09		15,9	933,2	372,14		
31,8	546,4	453,42	12,7	787,6	250,64		17,5	930,0	408,89		
33,3	543,4	473,57	14,3	784,4	281,65		19,1	926,8	445,52		
34,9	540,2	494,95	15,9	781,2	312,54		20,6	923,6	479,75		
36,5	537,0	516,20	17,5	778,0	343,30	22,2	920,4	516,14			
38,1	533,8	537,33	19,1	774,8	373,93	23,8	917,4	552,40			
26 – 660,0	7,9	644,2	127,04	32 – 813,0	20,6	771,8	402,54	40 – 1016,0	25,4	914,2	588,53
	8,7	642,6	139,73		22,2	768,6	432,93		27,0	911,0	624,54
	9,5	641,0	152,39		23,8	765,4	463,19		28,6	907,8	660,42
	10,3	639,4	165,02		25,4	762,2	493,32		30,2	904,6	696,18
	11,1	637,8	177,62		27,0	759,0	523,33		31,8	901,4	731,80
	11,9	636,2	190,19		28,6	755,8	553,22		7,9	1000,2	196,39
	12,7	634,6	202,72		28,6	752,6	582,98		8,7	998,6	216,11
	14,3	631,4	227,70		30,2	749,4	612,61		9,5	997,0	235,79
	15,9	628,2	252,55		7,9	848,2	166,78		10,3	995,4	255,45
	17,5	625,0	277,27		8,7	846,6	183,50		11,1	993,8	275,07
	19,1	621,8	301,87		9,5	845,0	200,18		11,9	992,2	294,66
	20,6	618,6	324,81		10,3	843,4	216,84		12,7	990,6	314,22
22,2	615,6	349,16	11,1	841,8	233,46	14,3	987,4	353,24			
23,8	612,4	373,39	11,9	840,2	250,05	15,9	984,2	392,13			
25,4	609,2	397,49	12,7	838,6	266,61	17,5	981,0	430,90			
28 – 711,0	7,9	695,2	136,97	34 – 864,0	14,3	835,4	299,64	42 – 1067,0	19,1	977,8	469,55
	8,7	693,6	150,67		15,9	832,2	332,53		20,6	974,8	506,66
	9,5	692,0	164,34		17,5	829,0	365,31		22,2	971,6	544,06
	10,3	690,4	177,98		19,1	825,8	397,95		23,8	968,4	582,33
	11,1	688,8	191,58		20,6	822,8	428,44		25,4	965,2	620,48
	11,9	687,2	205,15		22,2	819,6	460,85		27,0	962,0	658,50
	12,7	685,6	218,69		23,8	816,4	493,12		28,6	958,8	696,39
	14,3	682,4	245,68		25,4	813,2	525,27		30,2	955,6	734,16
	15,9	679,2	272,54		27,0	810,0	557,29		31,8	952,4	771,80
	17,5	676,0	299,28		28,6	806,8	589,19		8,7	1049,6	227,05
	19,1	672,8	325,89		30,2	803,6	620,96		9,5	1048,0	247,74
	20,6	669,8	350,72		31,8	800,4	652,60		10,3	1046,4	268,40
22,2	666,6	377,08	7,9	898,2	176,52	11,1	1044,8	289,03			
23,8	663,4	403,32	8,7	896,6	194,22	11,9	1043,2	309,62			
25,4	660,2	429,44	9,5	895,0	211,90	12,7	1041,6	330,19			
30 – 762,0	7,9	746,2	146,91	36 – 914,0	10,3	893,4	229,54	14,3	1038,4	371,22	
	8,7	744,6	161,61		11,1	891,8	247,15	15,9	1035,2	412,13	
	9,5	743,0	176,29		11,9	890,2	264,72	17,5	1032,0	452,91	
	10,3	741,4	190,93		12,7	888,6	282,27	19,1	1028,8	493,57	



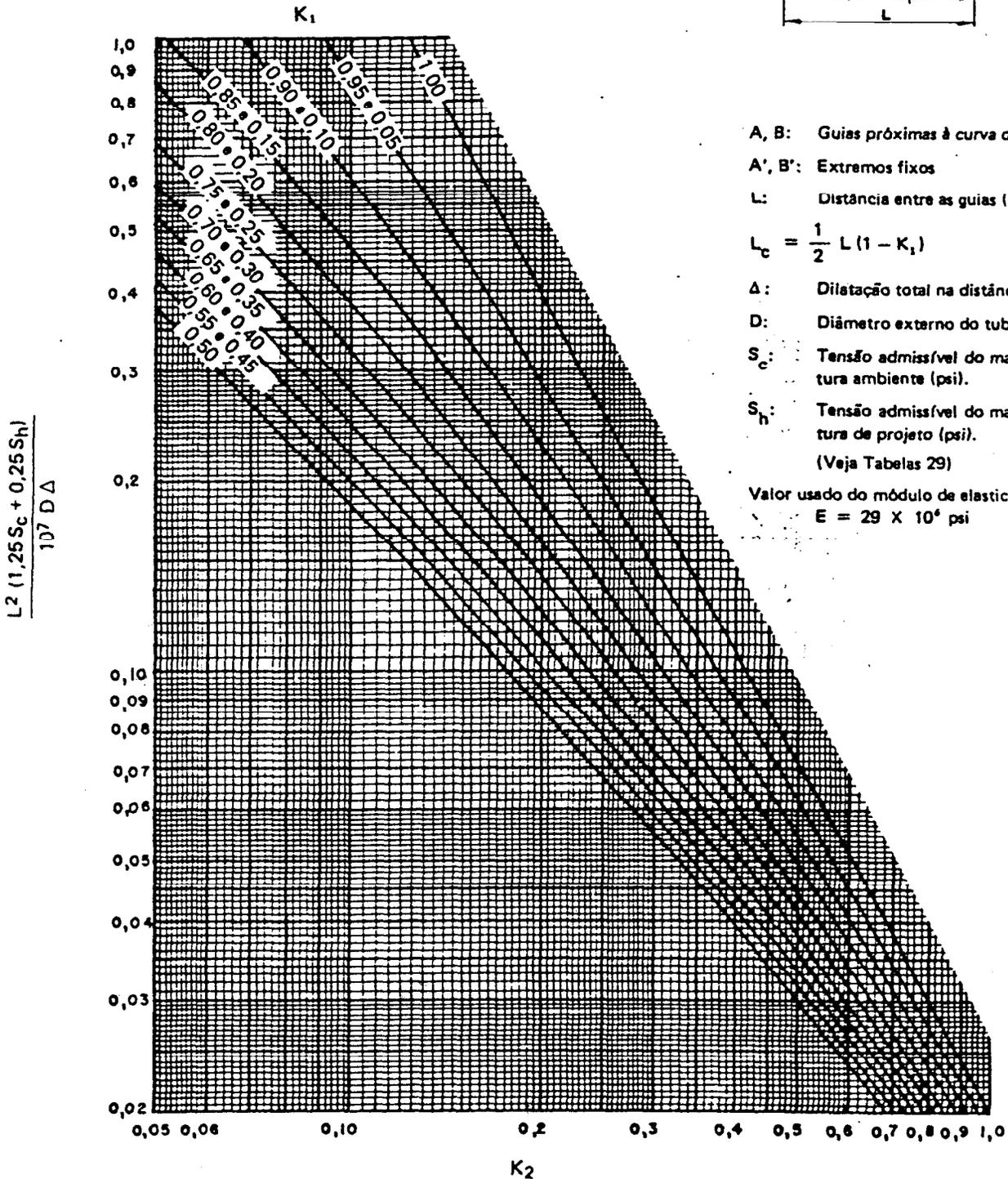
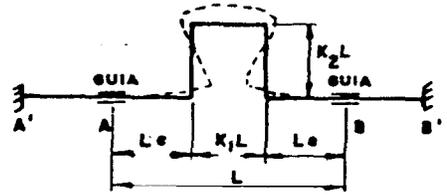
MATERIAIS:

- 1 - AÇO-CARBONO; AÇOS-LIGA C-1/2 Mo e 1/2 Cr-1/2 Mo
- 2 - AÇOS-LIGA 1 a 3 Cr-1/2 Mo
- 3 - AÇOS-LIGA 4 a 10 Cr-1/2 a 1 Mo
- 4 - AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS 16 a 18 Cr-8 a 10 Ni
- 5 - AÇOS INOXIDÁVEIS FERRÍTICOS 12, 17 e 27 Cr
- 6 - Cobre
- 7 - ALUMÍNIO
- 8 - METAL MONEL

32. ÁBACOS PARA CALCULO DE FLEXIBILIDADE DE TUBULAÇÕES

32.4. Curva de Expansão Simétrica (Veja Nota na pág. 31)

a) Comprimento necessário da curva de expansão

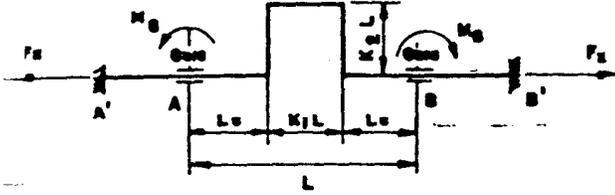


Extraído do livro "Design of Piping Systems" por "The M.W. Kellogg Co"
 Cortesia de John Wiley & Sons, Inc.

32. ABACOS PARA CALCULOS DE FLEXIBILIDADE DE TUBULAÇÕES

32.4. Curva de Expansão Simétrica (Veja Nota na pág. 91)

b) Reações e momentos de reação



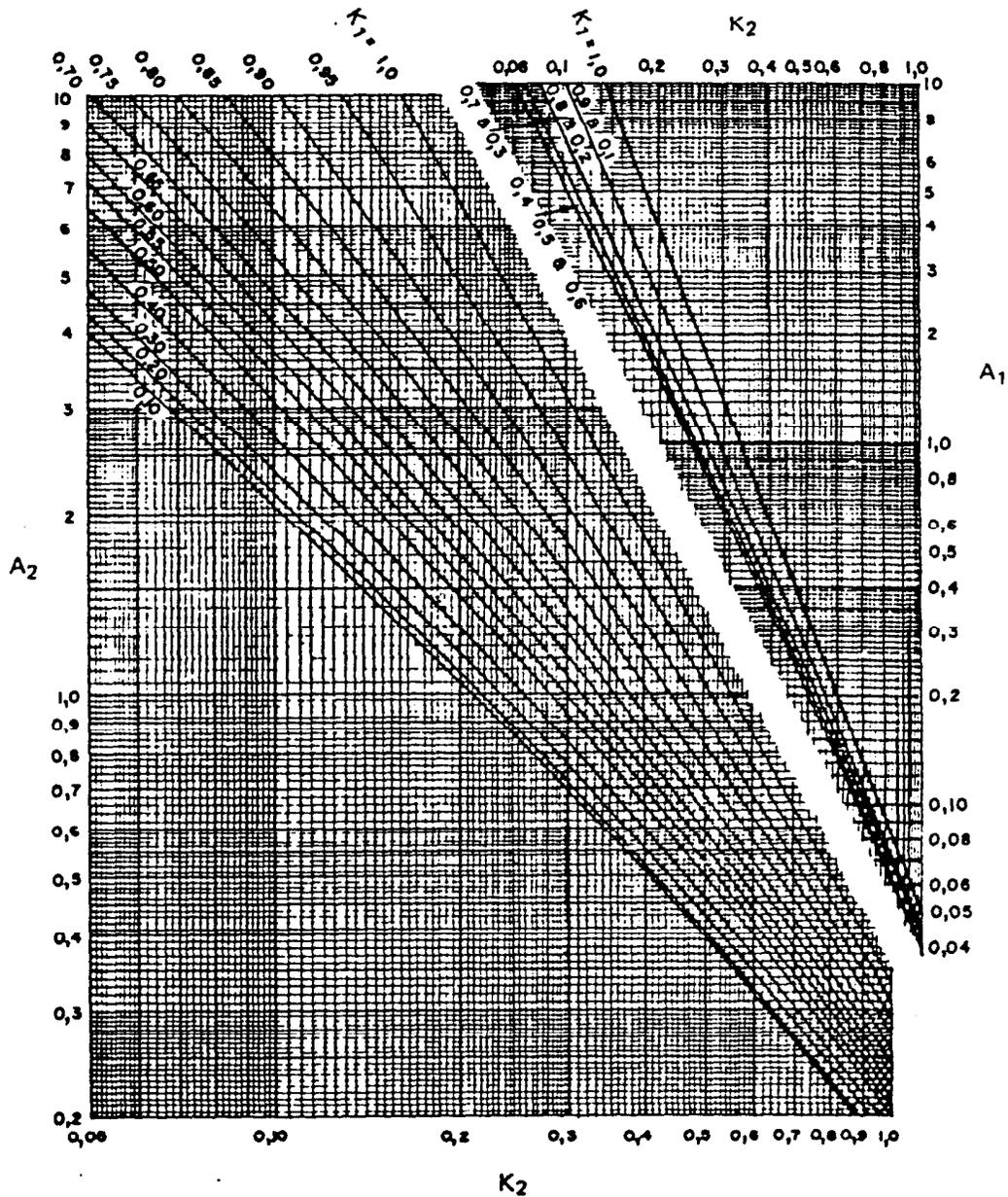
Reações nos extremos fixos:

$$F_x = 10^4 A_1 I \Delta / L^3$$

Momentos de reação nas guias:

$$M_G = 10^4 A_2 I \Delta / L^3$$

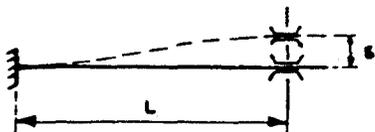
- Comprimento L (entre as guias) em pés.
- Forças de reação F_x em lb, e momentos de reação M_G em ft. lb.
- Momento de inércia transversal do tubo, I, em pol^4 (veja Tabelas 5).
- Dilatação total na distância A'B', Δ , em pol.
- Valor usado do módulo de elasticidade: $E = 29 \times 10^6$ psi
- Os resultados obtidos são os valores absolutos das forças e momentos de reação.



Extraído do livro "Design of Piping Systems", por "The M.W. Kellogg Co"
Cortesia de John Wiley & Sons, Inc.

33. METODO DA "VIGA EM BALANÇO GUIADA" PARA CÁLCULO DE FLEXIBILIDADE

a) Determinação da flecha admissível (Veja Nota na pág. 91)



Deformação do lado como "viga em balanço guiada"

L: Comprimento do lado (pés)

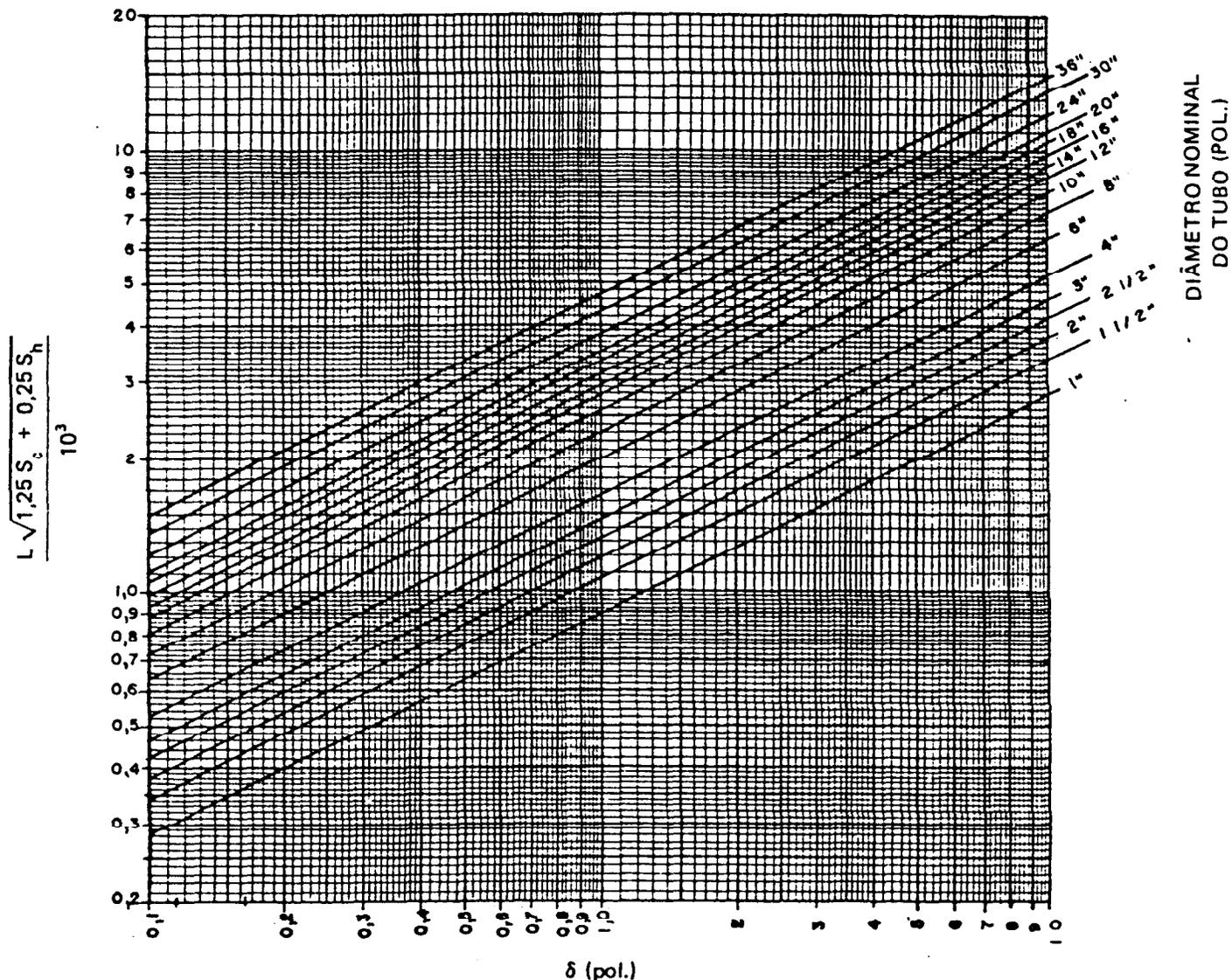
δ : Flecha lateral (pol.)

S_c : Tensão admissível do material na temperatura ambiente (psi)

S_h : Tensão admissível do material na temperatura de projeto (psi) – Veja Tabelas 29

Valor usado do módulo de elasticidade:

$$E = 29 \times 10^6 \text{ psi}$$

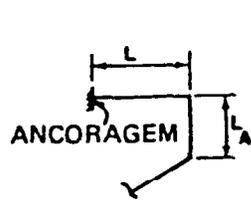


Calcule o valor de $\frac{L \sqrt{1.25 S_c + 0.25 S_h}}{10^3}$. Entre com esse valor na escala da esquerda, siga na horizontal até a reta do diâmetro nominal, e depois na vertical até a escala inferior. O valor obtido será a flecha máxima permitida para o lado considerado.

Extraído do livro "Design of Piping Systems" por "The M.W. Kellogg Co."
Cortesia de John Wiley & Sons, Inc.

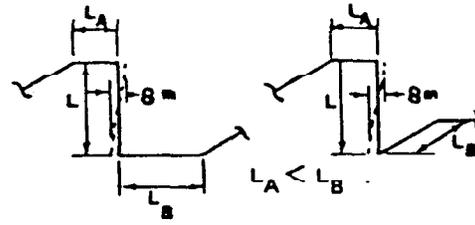
33. MÉTODO DA VIGA EM BALANÇO GUIADA PARA CÁLCULO DE FLEXIBILIDADE

b) Fator de correção para flecha máxima permitível (Veja Nota na pág. 91)



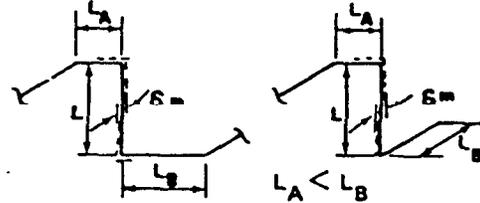
Caso I

Qualquer lado extremo



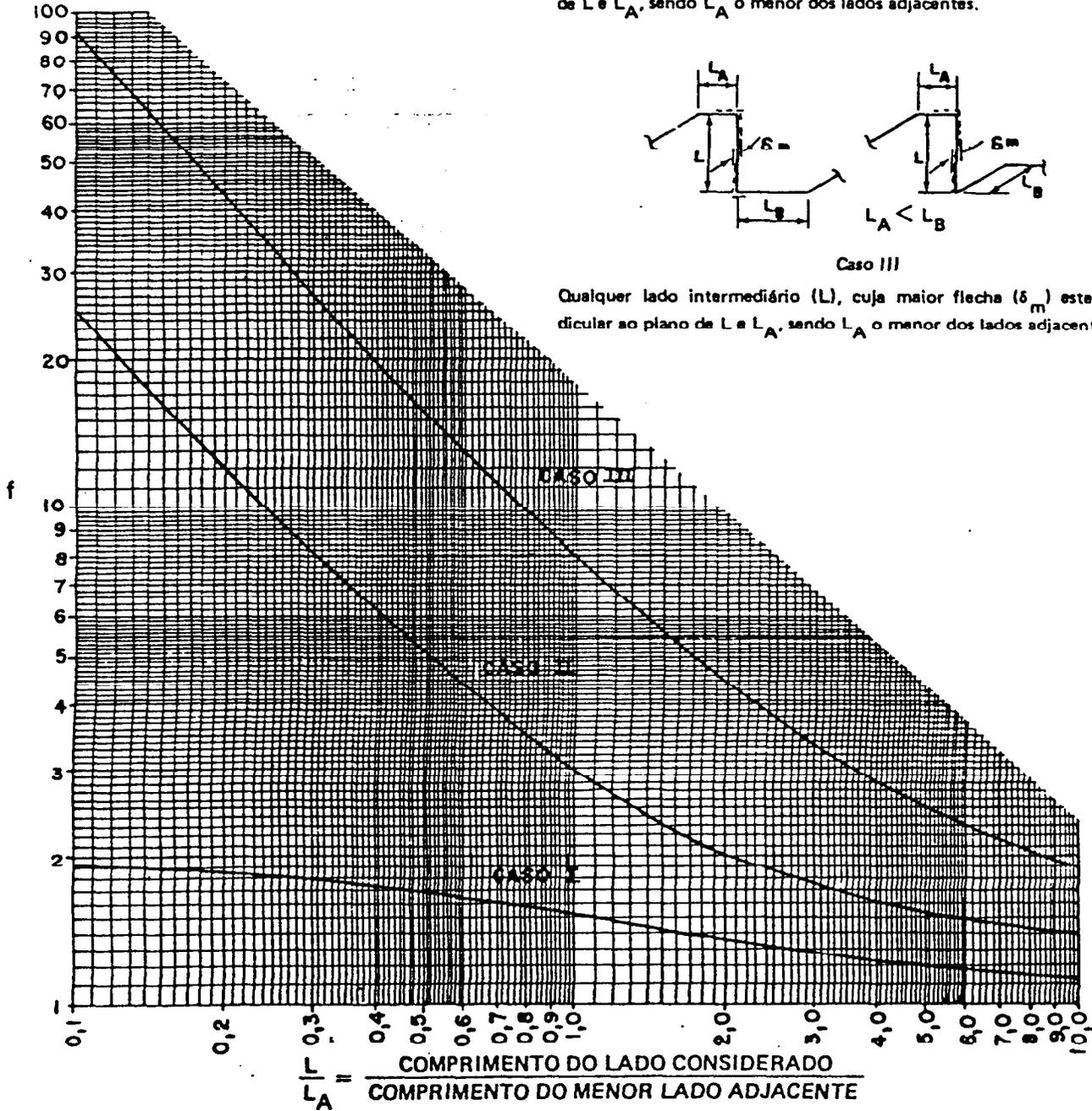
Caso II

Qualquer lado intermediário (L), cuja maior flecha (δ_m) esteja no plano de L e L_A , sendo L_A o menor dos lados adjacentes.



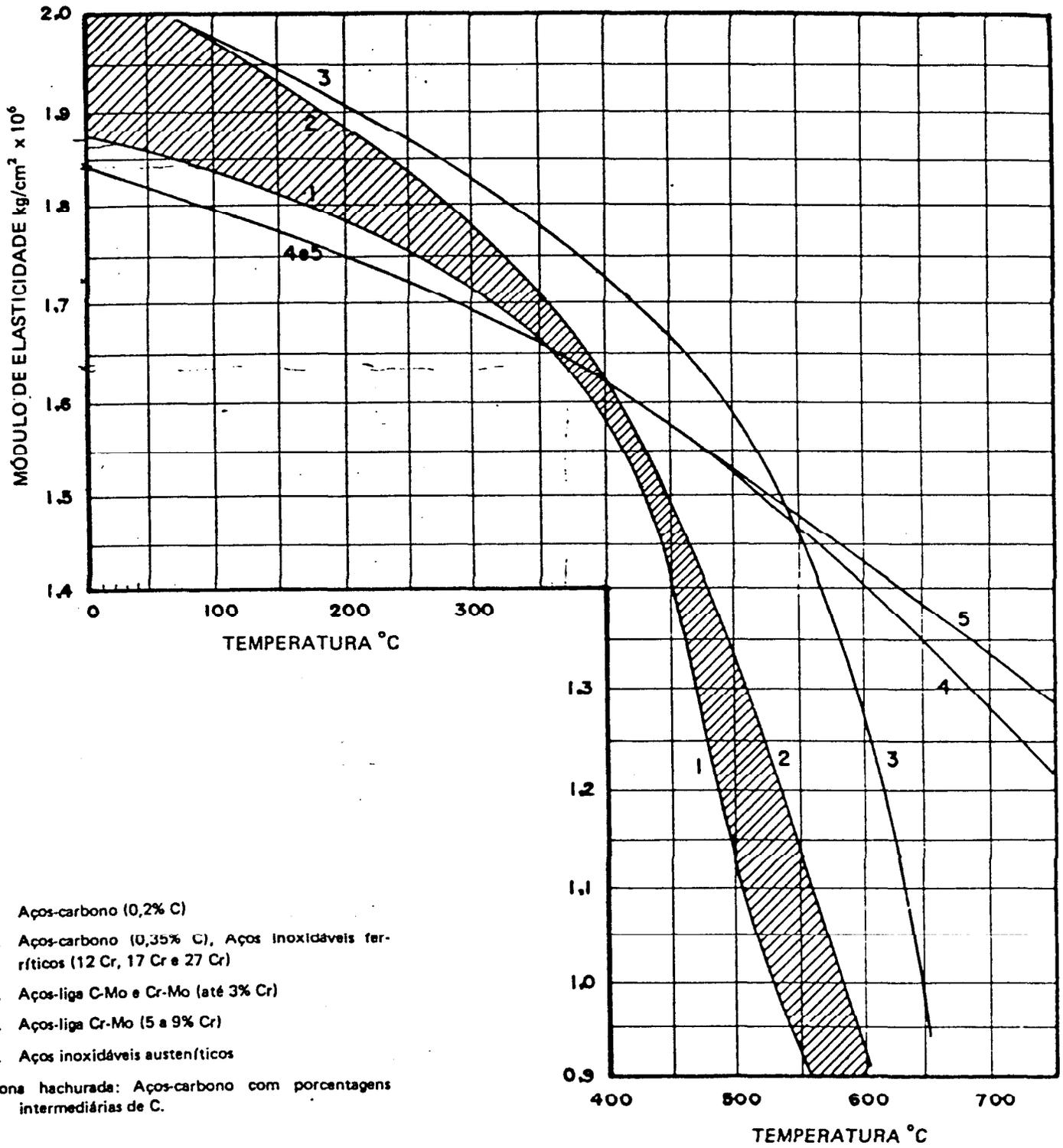
Caso III

Qualquer lado intermediário (L), cuja maior flecha (δ_m) esteja perpendicular ao plano de L e L_A , sendo L_A o menor dos lados adjacentes.



O fator de correção "f" deve ser multiplicado pelo valor calculado da flecha permitível, para se obter o valor corrigido dessa flecha.

Extraído do livro "Design of Piping Systems" por "The M.W. Kellogg Co"
Cortesia de John Wiley & Sons, Inc.

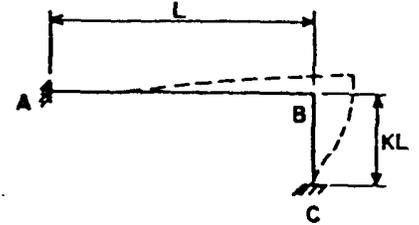
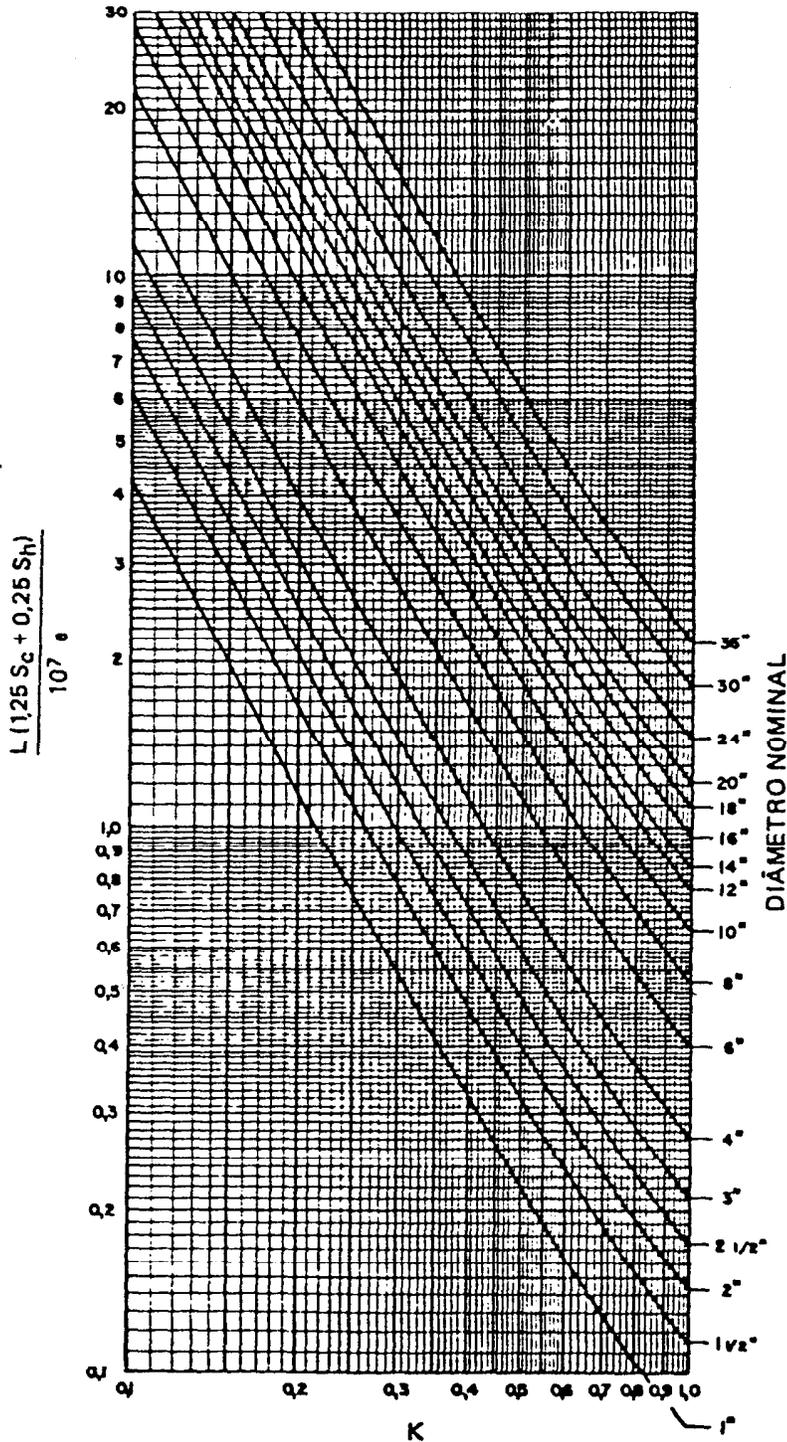


32. - ÁBACOS PARA CÁLCULO DE FLEXIBILIDADE DE TUBULAÇÕES

32.1. Configuração com Dois Lados Ortogonais, Ambos os Extremos Fixos, Dilatação Térmica no Próprio Plano

(Veja Nota)

a) Comprimento necessário de um dos lados



- L: Comprimento do lado conhecido, AB (pés)
 - KL: Comprimento mínimo necessário do outro lado, BC (pés)
 - Sc: Tensão admissível do material na temperatura ambiente (psi)
 - Sh: Tensão admissível do material na temperatura do projeto (psi)
(Veja Tabelas 29)
 - e: Dilatação térmica linear unitária do material na temperatura de projeto (pol/pé).
(Veja Gráfico 30)
- Valor usado do módulo de elasticidade:
E = 29 x 10⁴ psi

Extraído do livro "Design of Piping Systems", por "The M.W. Kellogg Co."
Cortesia de John Wiley & Sons, Inc.

Nota: Para configurações de tubulações não constantes nestes gráficos veja o "Cálculo de Flexibilidade de Tubulações" no livro "Tubulações Industriais - Cálculo", de P.C. da Silva Telles.

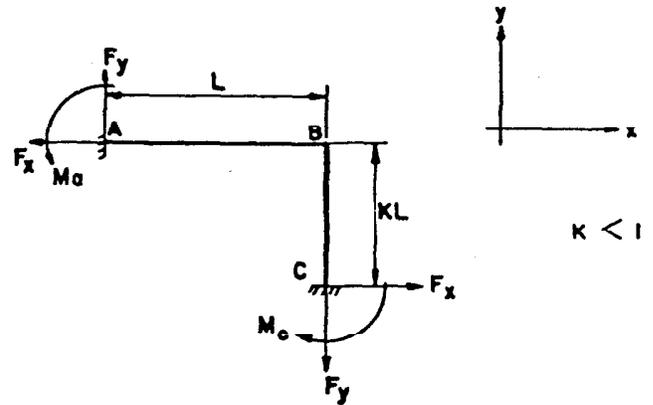
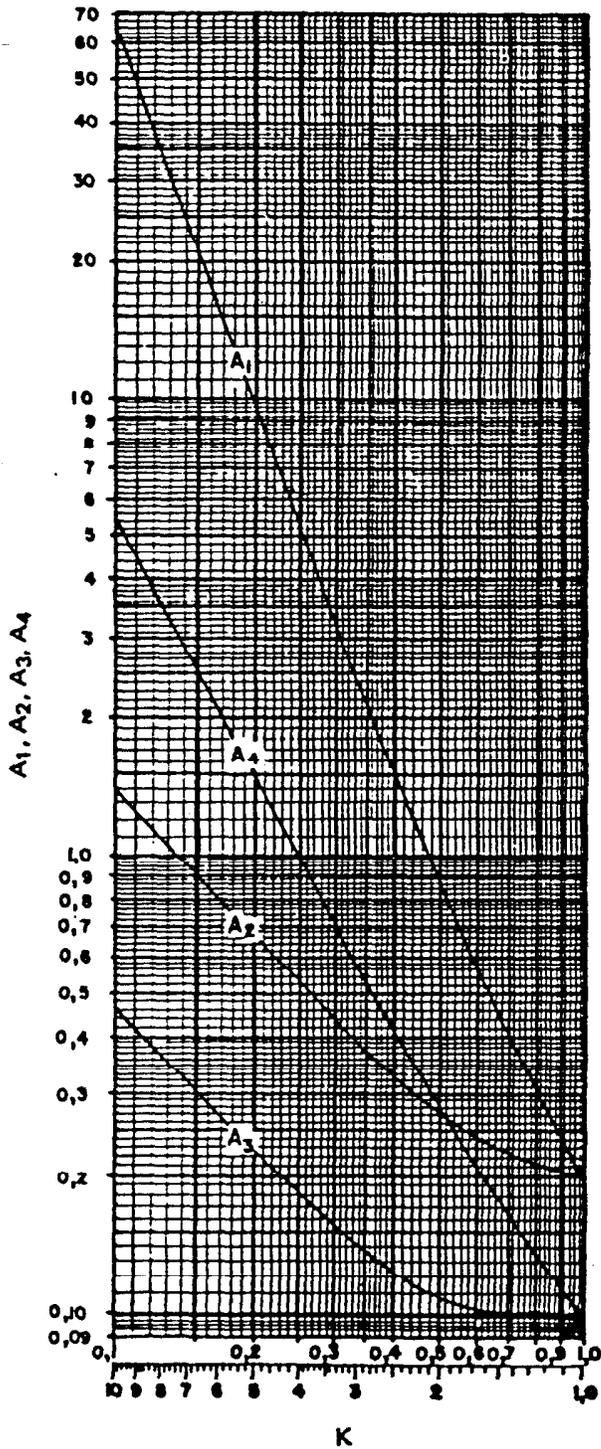
32. ABACOS PARA CÁLCULO DE FLEXIBILIDADE DE TUBULAÇÕES

32.1. Configuração com Dois Lados Ortogonais, Ambos os Extremos Fixos, Dilatação Térmica no Próprio Plano

12

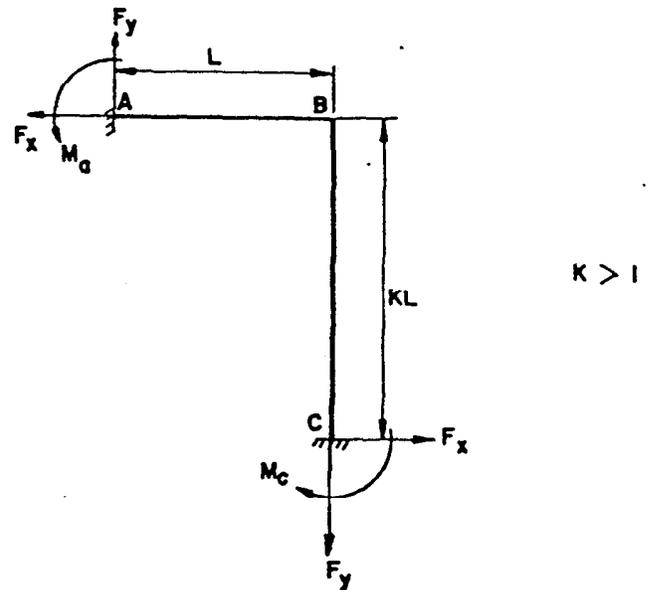
(Veja nota na pág. 91).

b) Reações e momentos de reação nos extremos fixos



$$F_x = 10^6 A_1 l e / L^2 \quad M_a = 10^6 A_3 l e / L$$

$$F_y = 10^6 A_2 l e / L^2 \quad M_c = 10^6 A_4 l e / L$$



$$F_x = 10^6 A_2 l e / (KL)^2 \quad M_a = 10^6 A_4 l e / KL$$

$$F_y = 10^6 A_1 l e / (KL)^2 \quad M_c = 10^6 A_3 l e / KL$$

- Comprimento L em pés
- Forças de reação F_x , F_y em lb.
- Momentos de reação M_a , M_c em ft.lb.
- Momento de inércia transversal do tubo I, em pol^4 (Veja Tabelas 5)
- Dilatação linear unitária do material, e , em $\text{pol}/\text{pé}$. (Veja Gráfico 30)
- Valor usado do módulo de elasticidade:
 $E = 29 \times 10^4 \text{ psi}$
- Os resultados obtidos são os valores absolutos das forças e momentos de reação.

Extraído do livro "Design of Piping Systems", por "The M.W. Kellogg Co"

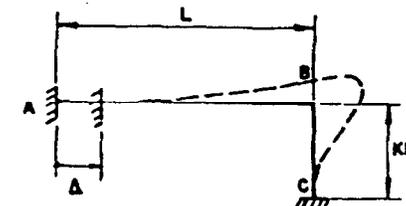
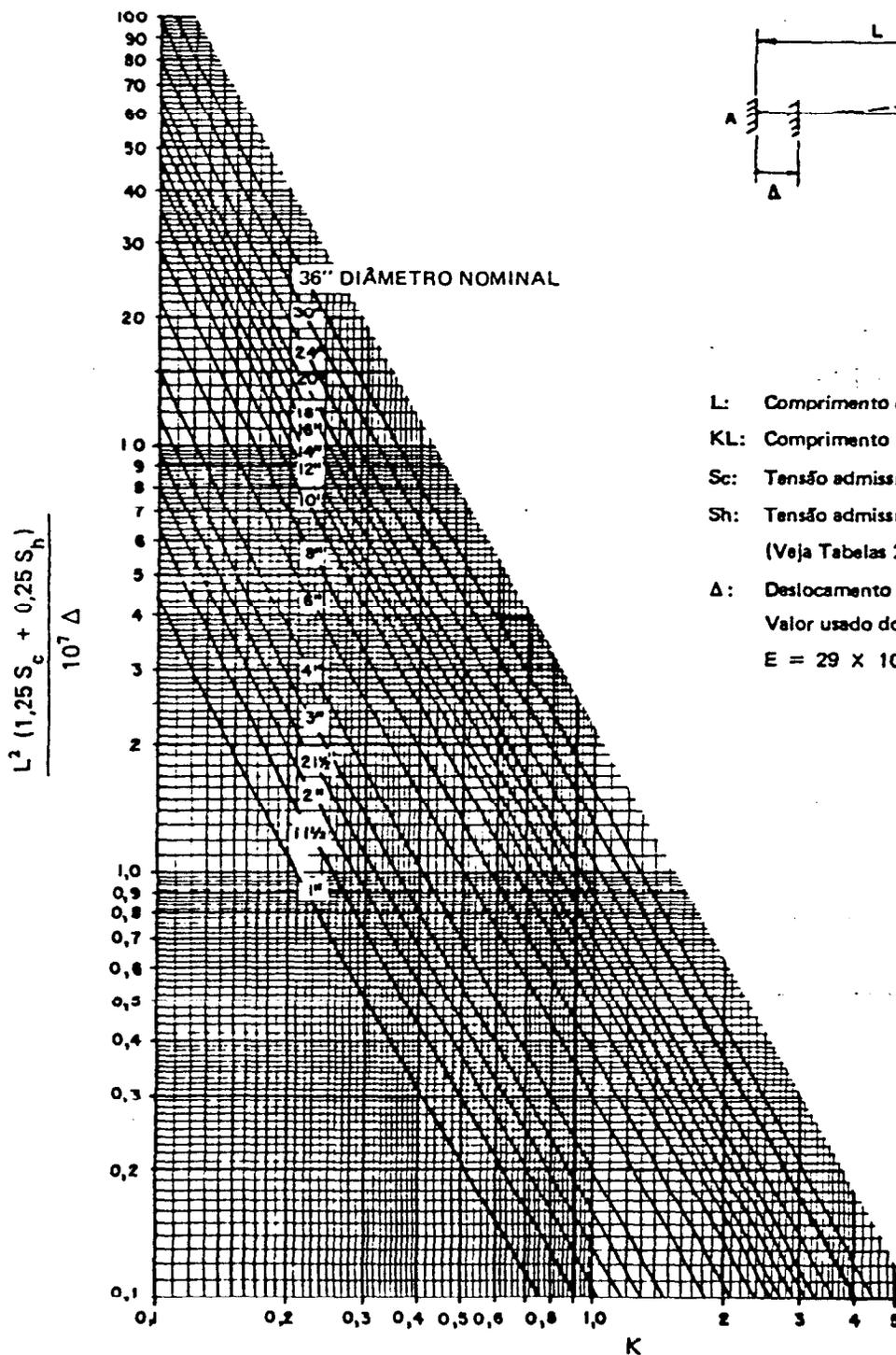
Cortesia de John Wiley & Sons, Inc.

32. ÁBACOS PARA CÁLCULO DE FLEXIBILIDADE DE TUBULAÇÕES

32.2. Configuração com Dois Lados Ortogonais, com um Extremo Fixo e o Outro se Deslocando na Direção do Próprio Lado.

(Veja Nota na pág. 91)

a) Comprimento necessário do lado fixo



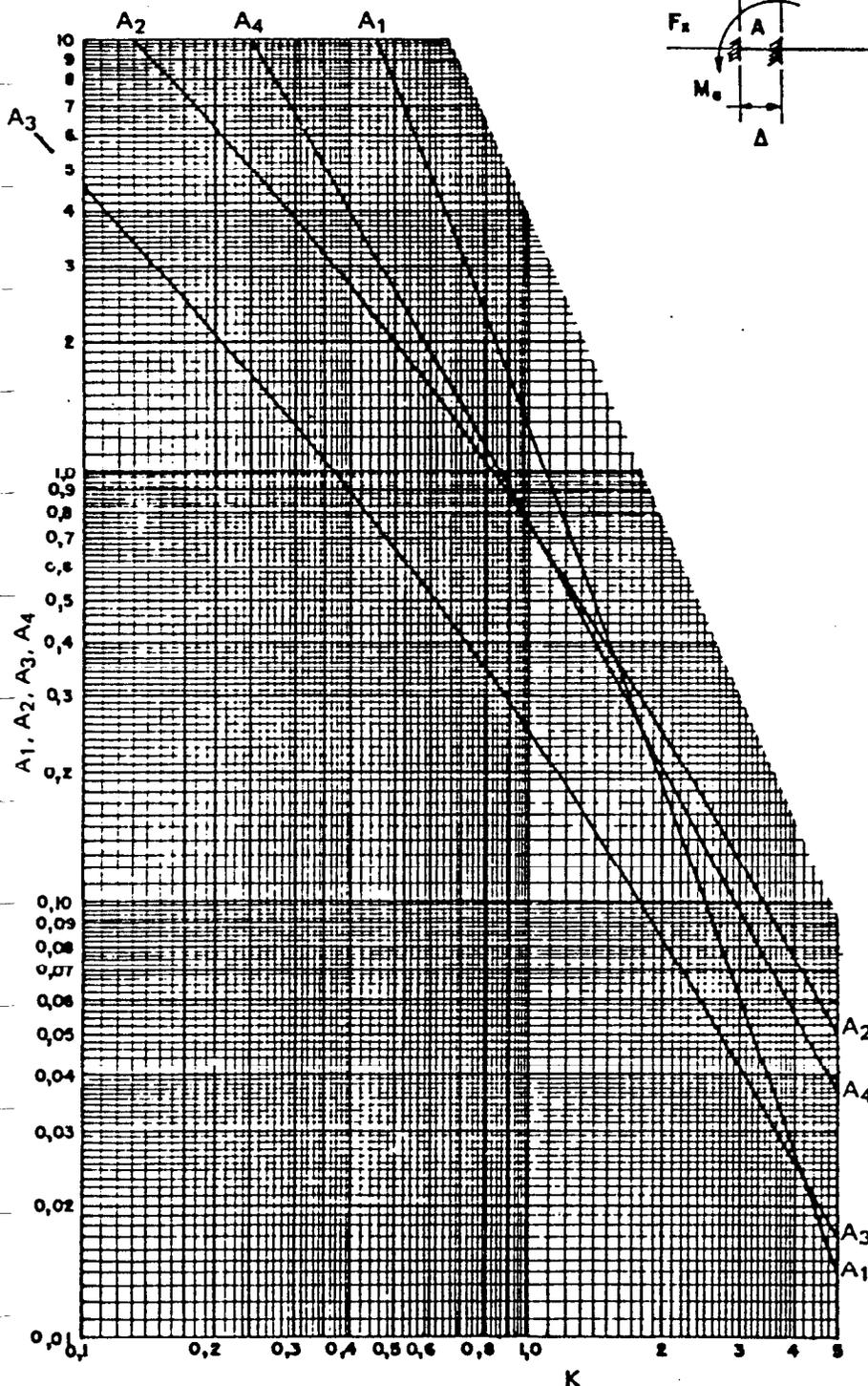
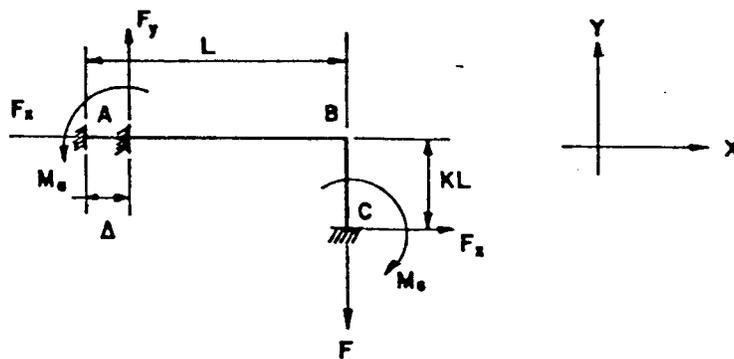
- L: Comprimento do lado conhecido, AB (pés)
- KL: Comprimento mínimo necessário do outro lado, BC (pés)
- Sc: Tensão admissível do material na temperatura ambiente (psi)
- Sh: Tensão admissível do material na temperatura de projeto (psi)
(Veja Tabelas 29)
- Δ: Deslocamento do ponto A (pol.)
- Valor usado do módulo de elasticidade:
E = 29 × 10⁶ psi

Extraído do livro "Design of Piping Systems", por "The M.W. Kellogg Co"
Cortesia de John Wiley & Sons, Inc.

32.2. Configuração com Dois Lados Ortogonais, com um Extremo Fixo e o Outro se Deslocando na Direção do Próprio Lado.

(Veja Nota na pág. 91)

b) Reações e momentos de reação nos extremos



$$F_x = 10^5 I \Delta A_1 / L^3$$

$$F_y = 10^5 I \Delta A_2 / L^3$$

$$M_a = 10^5 I \Delta A_3 / L^2$$

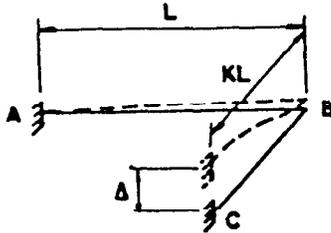
$$M_c = 10^5 I \Delta A_4 / L^2$$

- Comprimento L em pés
- Forças de reação F_x, F_y em lb
- Momentos: de reação, M_a, M_c em ft. lb.
- Momento de inércia transversal do tubo, I, em pol^4 (veja Tabelas 5)
- Deslocamento do ponto A, Δ , em pol.
- Valor do módulo de elasticidade:
 $E = 29 \times 10^4$ psi
- Os resultados obtidos são os valores absolutos das forças e momentos de reação.

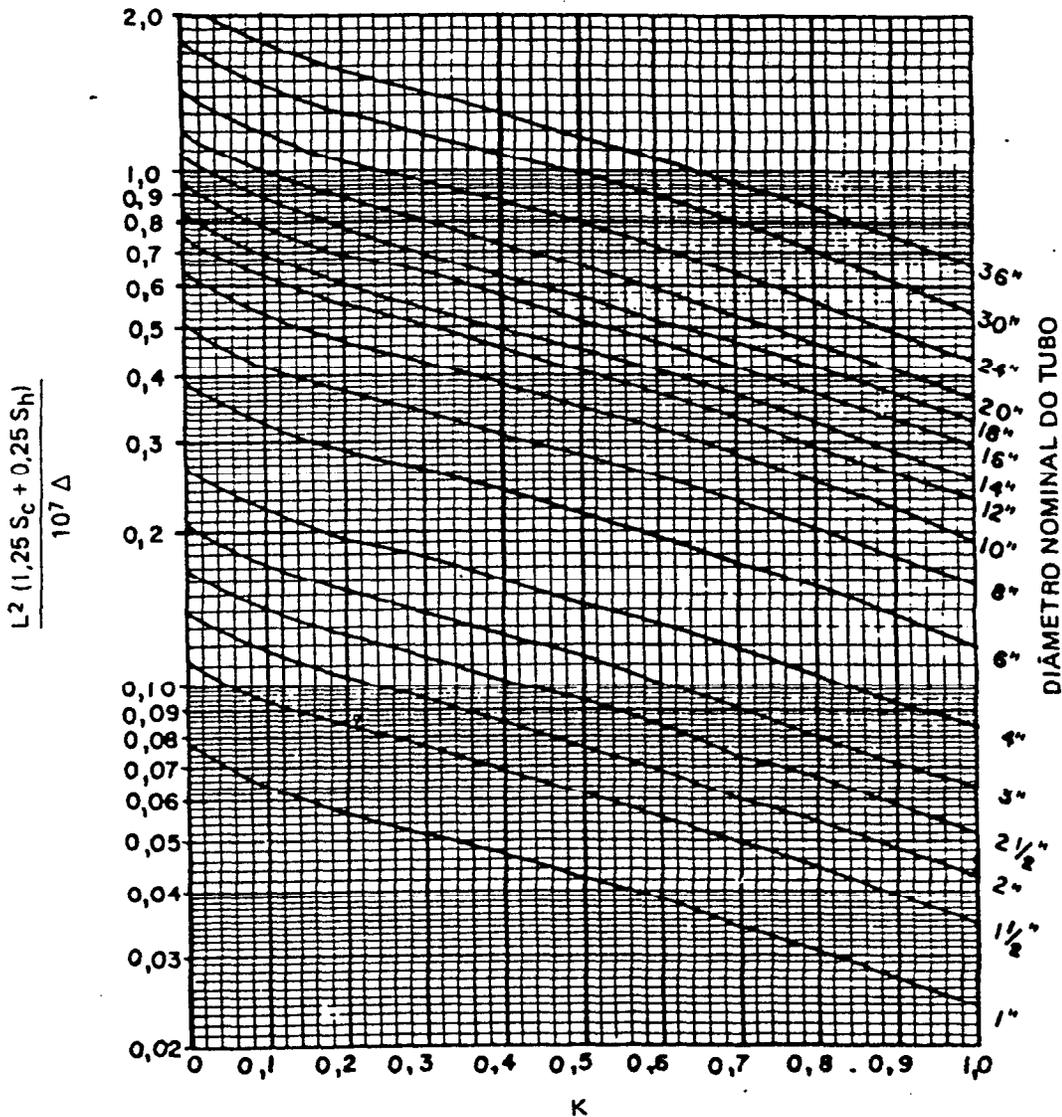
32. ÁBACOS PARA CALCULO DE FLEXIBILIDADE DE TUBULAÇÕES

32.3. Configuração com Dois Lados Ortogonais, com um Extremo Fixo e o Outro se Deslocando em Direção Perpendicular ao Plano da Figura (Veja Nota na pág. 91)

a) Comprimento necessário do lado fixo



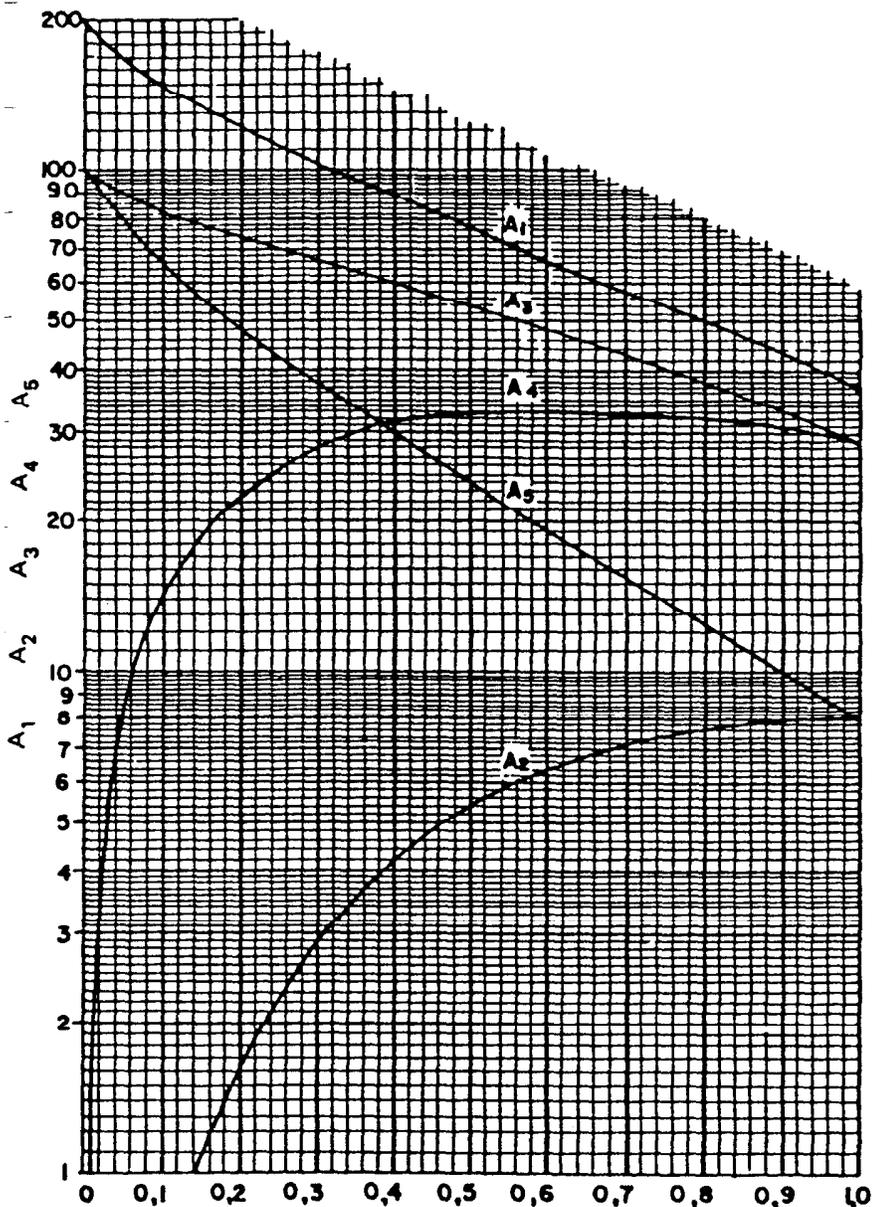
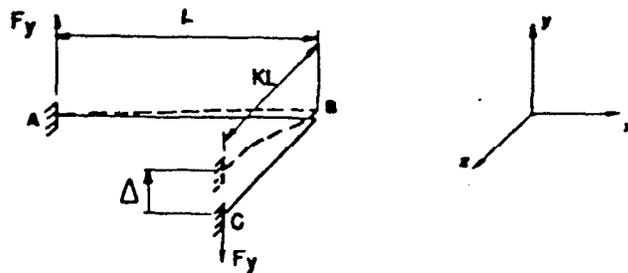
- L: Comprimento do lado conhecido, AB (pés).
 - KL: Comprimento mínimo necessário do outro lado, BC (pés).
 - Sc: Tensão admissível do material na temperatura ambiente (psi).
 - Sh: Tensão admissível do material na temperatura de projeto (psi).
(Veja Tabelas 29)
 - Δ: Deslocamento do ponto C (pés), perpendicular ao plano da figura.
- Valor usado do módulo de elasticidade: $E = 29 \times 10^6$ psi.



32. ÁBACOS PARA CÁLCULO DE FLEXIBILIDADE DE TUBULAÇÕES

2.3. Configuração com Dois Lados Ortogonais, com um Extremo Fixo e o Outro se Deslocando em Direção Perpendicular ao Plano da Figura (Veja Nota na pág. 91)

i) Reações e momentos de reação nos extremos



$$F_y = 10^3 \frac{I \Delta}{L^3} A_1$$

$$M_{xa} = 10^3 \frac{I \Delta}{L^2} A_2$$

$$M_{za} = 10^3 \frac{I \Delta}{L^2} A_3$$

$$M_{xc} = 10^3 \frac{I \Delta}{L^2} A_4$$

$$M_{zc} = 10^3 \frac{I \Delta}{L^2} A_5$$

Comprimento L em pés

Forças de reação F_y em lb.

Momentos de reação em ft. lb.

Momento de inércia transversal do tubo, I, em pol^4 (veja Tabela 5)

Deslocamento do ponto C, Δ , em pol.

Valor do módulo de elasticidade:

$$E = 29 \times 10^6 \text{ psi}$$

Os resultados obtidos são os valores absolutos das forças e momentos de reação.

Para os momentos de reação o primeiro índice mostra o eixo em torno do qual o momento atua, e o segundo índice mostra o ponto de localização do momento.