

18
2/2/89



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ ARAGON ”

CALCULO DE ESPESORES DE TUBERIAS
DE UNA PLANTA DE REFINACION

TESIS

Que para obtener el Título de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

FALLA DE ORIGEN

Presenta:

CORNELIO MUÑOZ VAZQUEZ

San Juan de Aragón Edo. de México, 1989



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PROLOGO

El presente trabajo tiene por objeto dar a conocer los procedimientos a seguir en la optimización del Espesor de Pared de Tuberías de Plantas Industriales, así como proporcionar los puntos para el cálculo y selección de dicho Espesor. Siendo esto siempre en base a las condiciones generales de diseño de cada proyecto en particular.

Se consideran también los elementos e información necesaria para dicha selección y cálculo; Podrá utilizarse primordialmente en tuberías construidas de Acero al Carbón, Acero de Aleación y Acero Inoxidable, mencionandose de manera general las consideraciones para el cálculo de Espesor de Pared de Tuberías fabricadas de otros materiales.

Este cálculo y selección será, tanto para Tuberías sometidas a presiones mayores a la atmosférica (Manométricas) como para tuberías que trabajan con presiones de vacío (Vacuométricas). Todos los espesores de Tuberías tienen como base para su obtención, la consideración de la presión manométrica interna (mayor o menor, según el caso), así como el esfuerzo admisible de trabajo.

Dado que para Pemex y otras Industrias, los requerimientos de Tuberías representan un 50% de las adquisiciones para cualquier planta de proceso; una selección o cálculo de Espesor de Pared de Tubería representa una disminución considerable en los costos de diseño y fabricación.

I N D I C E

	PAGINA
I. INTRODUCCION	4
II. CONCEPTO DE ESPESOR	8
2.1 Concepto de espesor	8
2.2 Diferentes tipos de espesores de tuberías	9
2.3 Concepto de espesor mínimo permisible	10
2.4 Tabla de valores de espesores mínimos permisibles con extremos planos y extremos roscados	11
2.5 Nomenclatura y detalles del espesor de pared de tubo	12
III. ELEMENTOS E INFORMACION NECESARIA PARA EL CALCULO DE ESPESORES DE TUBERIA	13
3.1 Índice de servicios del proyecto	13
3.2 Descripción de la especificación general - EABB-201	14
3.3 Tablas de diámetros y espesores de tubería comercial de acero al carbón, tales como: Taylor Forge, Tube Turns, etc.	17
3.4 Apéndice A del Código ANSI B-31.3	18
3.5 Gráficas del Código ASME, Sección VIII, Div. 1 ..	18
IV. PROCEDIMIENTOS PARA LA OBTENCION DEL ESPESOR DE TUBERIA	19
4.1 Generalidades sobre el cálculo de espesor de tubería	19

4.2	Cálculo de espesores de tubería por el método de presiones de trabajo	20
4.3	Cálculo de espesores de tubería por presiones que producen esfuerzos unitarios de 10,000 psi ...	24
4.4	Cálculo del espesor de pared de tubería por - fórmula general	31
4.5	Cálculo de espesor de pared de tubería de - otros materiales	34
V.	PROCEDIMIENTOS PARA LA OBTENCION DEL ESPESOR DE PARED DE TUBERIA PARA PRESIONES VACUOMETRICAS. (VACIO)	64
5.1	Tuberías sometidas a presión externa	64
5.2	Terminología utilizada para el cálculo de - espesores por presión externa	64
5.3	Cálculo del espesor para cilindros que tengan la condición $D_o/t > 10$	68
5.4	Cálculo del espesor para cilindros que tengan la condición $D_o/t \leq 10$	96
5.5	Método gráfico	100
5.6	Programa: Procedimiento de cálculo de espesor de pared de tubo para presión externa. (vacío) ...	101
VI.	GENERALIDADES SOBRE PRUEBAS MECANICAS APLICADAS A TUBERIAS	112
6.1	Generalidades sobre materiales más utilizados en la Industria Petrolera	112
6.2	Pruebas destructivas	113
6.3	Pruebas no destructivas	121

VII.	CALCULO DE ESPESOR DE PARED DE TUBERIAS DE TRANSPORTE	132
7.1	Sistemas de transporte de hidrocarburos líquidos .	132
7.2	Sistemas de transporte de hidrocarburos gaseosos .	132
7.3	Sistemas de transporte para productos químicos y petroquímicos	132
7.4	Cálculo de espesor para sistemas de transporte de hidrocarburos líquidos	133
7.5	Cálculo de espesor para sistemas de transporte de hidrocarburos gaseosos	141
7.6	Cálculo de espesor para sistemas de transporte de productos químicos y petroquímicos	149

I. INTRODUCCION

Durante mucho tiempo se ha creído que no hay ningún otro producto industrial tan relacionado con el progreso del género humano, como es el Tubo.

Antiguamente muchas de las tuberías usadas fueron construidas de troncos de madera agujerados o duelas de madera -- similares a las de los barriles. En el siglo XVII se empezaron a usar tuberías de hierro fundido, también fueron muy usadas las tuberías de plomo, se cree que este último material mencionado es el primer metal usado en tuberías.

Las primeras tuberías que se utilizaron se construyeron con el fin de satisfacer las necesidades de presión de -- las diferentes operaciones hidráulicas de las plantas de vapor, con el tiempo se ha ido mejorando la fabricación de tuberías, ya que el fabricante atiende las peticiones específicas de sus clientes.

Como resultado del creciente desarrollo de la industria nacional, se ha acelerado la creación de plantas industriales, de proceso y de potencia, en diversas áreas como: -- petróleo, la petroquímica, la azucarera del papel, la del acero y la de generación de energía eléctrica.

La fabricación y el montaje de los sistemas de tubería -- que interconectan los equipos de dichas instalaciones, -- representan una parte considerable del tiempo de la construcción de dichas plantas.

La prefabricación de tuberías involucra una serie de operaciones, tales como: cortar, doblar, esmerilar, maquilar, soldar, limpiar, pintar, relevar de esfuerzos o dar algún

tratamiento térmico; examinar y probar para convertir tramos de tubería recta, bridas y conexiones en sistemas completos de tuberías o en componentes que pueden formar parte de un sistema.

Como regla general, es preferible que la mayor parte de la tubería de una planta se prefabricue en talleres adecuados seguida del montaje en el lugar de construcción y de la unión de las piezas prefabricadas. Esto se debe a que la fabricación en el taller cuenta con equipo y personal especializado, así como con condiciones de trabajo más favorables; se puede efectuar más rápido, fácil y consistente que la fabricación en campo. Las ventajas de la fabricación en taller, es que se aprecien mejor a medida que se incrementa el diámetro y los espesores de los componentes de las tuberías.

Fundamentalmente el diseño de tubería, así como el del espesor consiste en la aplicación de los conocimientos sobre flujos de fluidos, esto es, el tipo de fluido que se está manejando y que tan altamente corrosivo es, análisis de esfuerzos que es a los que se somete la tubería al estar bajo condiciones críticas de operación.

Propiedades de los materiales. Esto es las propiedades que deben tener dichos materiales para resistir los esfuerzos producidos por las condiciones de operación y los procedimientos a utilizar para decidir la disposición general de la planta.

Las tuberías industriales se encuentran en instalaciones de barcos, calderas y en servicios a gran escala para edificios, pero su mayor complejidad es en plantas de procesos químicos y del petróleo.

Hacer el arreglo original, modificar un existente o dar soluciones a los trazos de tubería sin conocer las necesidades y características de funcionamiento de los equipos y dispositivos especiales, así como de las técnicas de diseño que traerán como consecuencia retrasos en el proyecto u operación incorrecta de la planta, además de gastos innecesarios.

Cuando se habla de tubería, generalmente se considera la inclusión de tubos, válvulas, bridas, tornillos, empaques y accesorios, dispositivos: cuya finalidad es mezclar, separar, detener, distribuir, controlar y medir el flujo.

Así pues por lo anteriormente expuesto y con el afán de conocer los diseños de tubería y en especial el diseño del espesor de ésta, el presente trabajo se hace con la finalidad de proporcionar algunos procedimientos para el cálculo y selección de las mismas, de acuerdo a las condiciones generales de diseño de cada proyecto.

Se podrá usar en cualquier proyecto en el cálculo y la verificación del espesor de pared de tubería, de acero al carbón, acero de aleación y acero inoxidable, ya sea para presiones manométricas o para presiones vacuométricas (vacío).

En las plantas de proceso generalmente o normalmente encontramos dos tipos de tuberías, las cuales cabe mencionar:

Tuberías de Servicio.- Que son aquellas que conducen fluidos tales como: agua, gas, vapor, salmuera u otras sustancias necesarias para alcanzar las condiciones requeridas de presión y temperatura, etc.

Tuberías de Proceso.- Que son aquellas que conducen fluidos que intervienen en la composición del producto a procesar.

En el presente trabajo se hace gran referencia a dos códigos relacionados con el tema tratado, que se enfocan al - diseño mecánico de sistemas de tubería, tanto a presión - interna como externa.

Estos códigos son: ANSI B-31.3, B-31.8 y ASME Secc. VIII, Div. 1; así como ASTM.

II. CONCEPTO DE ESPESOR

2.1 Concepto de espesor.

El espesor de pared de tubería, es el tamaño que la tubería requiere de pared para soportar sus condiciones normales de operación, así como sus condiciones críticas, al espesor de pared de tubería también se le conoce con el nombre de número de cédula. Dicho número de cédula está dado en base al espesor de pared y al diámetro de la tubería y cambia al variar éstos.

Este número se obtiene de la siguiente manera:

- Partiendo de la expresión.

$$\text{Número de cédula} = 1000 P/S$$

Donde:

P = Presión manométrica interna Lb/in² (Kg/cm²)

S = Esfuerzo admisible de trabajo en lb/in² (Kg/cm²)

Y dicha expresión se basa en la fórmula para el cálculo del espesor de tubo y es la siguiente:

$$T = \frac{P D}{2 S} + C$$

Donde:

D = Diámetro exterior del tubo en (IN) (CM)

T = Espesor de tubo en pulg. (IN) (CM)

C = Tolerancia de corrosión (IN) (CM)

Que el número de cédula es una expresión que resulta aproximadamente proporcional a la relación de la presión de -- trabajo y esfuerzo admisible, así como también a la relación del espesor corroído y el diámetro.

Anteriormente cuando aún no se usaban los números de cédulas se designaba al espesor de los tubos por los términos estandar extrafuerte y doble extrafuerte. El tubo de diámetro en cédula de 40 corresponde a peso estandar y el tubo de 8" en cédula 80 corresponde a tubo extrafuerte. En algunos tamaños de tubos se ha descontinuado el tamaño doble - extrafuerte y en su lugar se fabrica el tubo de cédula 160. Y las designaciones antiguas han ido desapareciendo gradualmente.

2.2) DIFERENTES TIPOS DE ESPESORES DE TUBERIAS.

Existen tres diferentes tipos de espesores a saber y son - los siguientes:

- a) El espesor teórico.- Es aquel espesor que es obtenido directamente por fórmulas generales, en este espesor - se considera única y exclusivamente el tamaño de espesor de pared, que se requiere para determinadas condiciones de operación, sin considerar ninguna tolerancia ya sea por fabricación o por condiciones climatológicas locales, que en ese momento afectan a la tubería.

- b) El espesor práctico.- Es ya en este espesor donde se - integra el espesor teórico más las tolerancias respectivas, es decir este espesor se compone por la suma del espesor inicial o teórico, así como por las tolerancias de fabricación y a la corrosión.

- c) El espesor comercial. Este tipo de espesor nos habla - su nombre ya por si solo, este término implica el más conocido y usado, ya que es un espesor previamente establecido por códigos y se utiliza en el mercado internacional.

Son estos los espesores conocidos en tuberías y que normalmente se relacionan entre si, es decir todos tienen -- como base para su obtención la consideración de la presión manométrica interna, así como del esfuerzo admisible de trabajo.

2.3 CONCEPTO DE ESPESOR MINIMO PERMISIBLE.

Se ha dado una definición de lo que es un espesor de pared de tubería, así como se han mencionado los diferentes tipos de espesores que se pueden obtener en un momento determinado en cualquier tubería, pero surge la inquietud de saber como y cual sería el espesor mínimo requerido -- para soportar las condiciones más críticas de operación y surge de ahí el concepto de espesor mínimo permisible, el cual dice lo siguiente.

El espesor mínimo permisible en una tubería es:

El mínimo espesor que debe tener la tubería para soportar las condiciones más críticas de operación en un momento determinado. Así también para tuberías ya sea con extremos planos o roscados, el espesor mínimo permisible será el espesor remanente después de la reducción del espesor nominal de la tubería por tolerancia de fabricación y la corrosión permisible.

2.4 TABLA DE VALORES DE ESPESORES MINIMOS PERMISIBLES PARA --
TUBERIA CON EXTREMOS PLANOS Y EXTREMOS ROSCADOS.

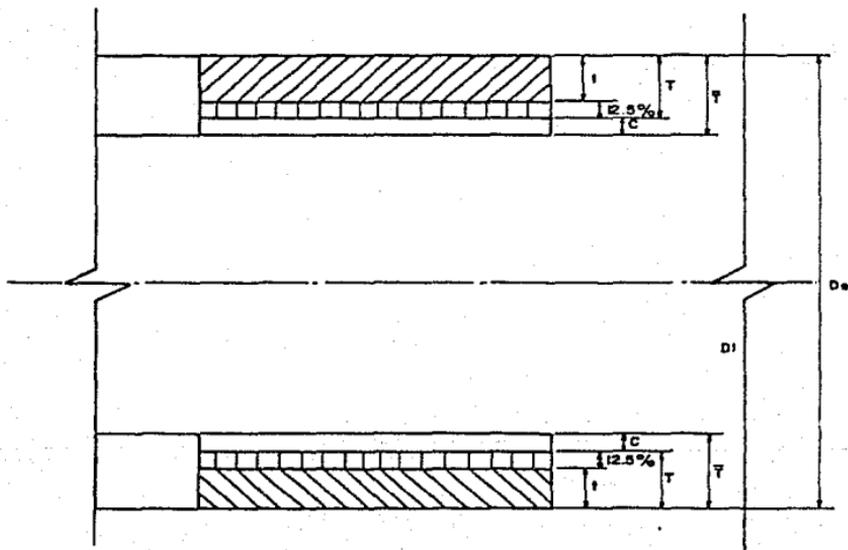
En la siguiente tabla se enlistan también los valores de espesores mínimos permisibles en tuberías con extremos -- planos y roscados para diferentes diámetros. En esta ta-- bla podemos observar que el espesor mínimo de pared de -- tubo con extremos roscados será menor que el espesor míni mo permisible de pared de tubo con extremos planos.

DIAMETRO DE TUBERIA	ESPESOR MINIMO PARA TUBO CON EXTREMOS PLANOS	ESPESOR MINIMO PARA TUBO CON EXTREMOS - ROSCADOS
1/2"	0.06"	0.03
3/4"	0.06"	0.04
1"	0.06"	0.045
2"	0.06"	-
3"-4"	0.06"	-
6"-12"	0.09"	-
14"-24"	0.12"	-

2.5 NOMENCLATURA Y DETALLES DEL ESPESOR DE PARED DE TUBO

\bar{T} = Espesor Nominal IN (mm)
 T = Espesor Mínimo IN (mm)
 t = Espesor Mínimo a la presión de diseño IN (mm)
 c = Tolerancia de la corrosión IN (mm)
 Do = Diámetro exterior IN (mm)
 12.5% = Tolerancia por Fabricación

FIG. A



III. ELEMENTOS E INFORMACION NECESARIA PARA EL CALCULO DE ESPESORES DE TUBERIA

Podemos preguntarnos ¿Qué es lo que requerimos para poder calcular el espesor de pared de una tubería?

A lo cual diremos que una vez que tenemos la necesidad de crear un sistema de tuberías para una planta de refinación y deseamos satisfacerla, recurrimos a diseños de tubería mejor conocidos como arreglos de tubería. Dentro de este diseño se encuentra el del espesor de pared de dichos arreglos. Para esto es necesario conocer los siguientes elementos y la información que en ellos aparece.

3.1 INDICE DE SERVICIOS DEL PROYECTO.

Dicho documento es de vital importancia para el cálculo de espesor de pared de tubería, dado que éste proporciona los datos de presión y temperatura máxima de operación, así como la tolerancia de corrosión para cada clase de material. En el índice podemos conocer también otra información que tiene cierta importancia para el desarrollo del cálculo, - como la sección de la planta en que estamos diseñando la tubería; así como el tipo de material que se utiliza para ésta. Encontramos también la clave de identificación de la tubería en la cual encontraremos de qué diámetro es la tubería a que hacemos referencia, el número consecutivo mediante el cual se identifica y la clase. Esta última generalmente se refiere al tipo de material dependiendo de su proceso y su peso, podemos conocer en forma aproximada la ruta que sigue la tubería y por donde se encuentra dado que se hace una identificación, es decir, se observa desde donde sale y hasta donde llega, teniendo como resultado una línea localizada en la planta o sección de planta.

Cabe mencionar otro elemento que forma parte de dicho índice y es el aislamiento, éste es dependiendo de las condiciones de presión y temperatura, así como del fluido a manejar; se determinará si se utiliza o no, esto dependiendo de que tubería se trate. Tubería que trabaje con altas o bajas temperaturas. Cada aislamiento tendrá su diferente tipo y clave, tanto para el uso que se le va dar como para el tipo de material que se utiliza en su construcción. El espesor o capa ya sea interior o exterior, se obtendrá de las bases de diseño de cada contrato en específico, así como su clave de acabado dependiendo de su designación. -- Aquí en este índice de servicios se analizan las líneas (hablamos de líneas refiriéndonos a tuberías) críticas y se envían para su análisis a Ingeniería de Sistemas o bien a Análisis de Esfuerzos.

Entre otros, estos son los elementos e información que aparece en el índice de servicios que puede cambiar según las bases de diseño de cada contrato o proyecto en particular.

3.2 DESCRIPCION DE LA ESPECIFICACION GENERAL E43B-201

Esta especificación nos habla de los requisitos de diseño para tubería de proceso y servicios auxiliares.

El diseño de arreglos de tuberías requiere para lograr su optimización del estudio detallado de cada caso particular, para lo cual es necesario contar con la información adecuada, la cual se encuentra en las especificaciones, normas, bases de diseño, etc.

Parte de esta información consiste principalmente en lo siguiente:

Bases de Diseño: Es un documento que contiene la información básica mínima de la planta, tal como localización y tipo de planta, generalidades de proceso, especificaciones de los -- productos, tipo de eliminación de desechos, servicios auxiliares, sistemas de comunicación, seguridad y condiciones -- climatológicas.

Diagramas de Proceso: Es la fuente principal de datos para los Departamentos de Diseño y representa el proceso tal como es concebido por los Ingenieros Químicos, este Diagrama muestra el tipo de equipo necesario, así como la tubería asociada, además de los datos sobre gastos, balances de masa y -- energía y propiedades de los fluidos manejados.

Los requisitos que tiene que cumplir un diagrama de flujo de proceso son:

- a) Objetividad.
- b) Enlistado que muestre las corrientes y el balance de masa, condiciones de operación y las propiedades más importantes en los fluidos.
- c) Nomenclatura y servicios de todos los equipos.
- d) Presión y temperatura de operación de los equipos y líneas importantes.
- e) El % de vaporización de peso en las líneas con fluidos en dos fases.
- f) Notas generales de complemento.

g) De instrumentación, sólo se indican las válvulas de control requeridas por el proceso y variable a controlar.

- Nomenclatura generalmente empleada en los diagramas de proceso.

B A = Horno
D A = Torres
E A = Cambiador de Calor
E B = Caja Enfriadora
F A = Recipientes a presión
F B = Recipientes Atmosféricos
G A = Bombas

- Hojas de Datos de Equipo.

En el departamento de proceso se elaboran estas hojas, las cuales contienen las condiciones de diseño, operación y las dimensiones preliminares de los equipos y sus boquillas.

- Diagramas de Tubería e Instrumentación (D.T.I.).

Estos diagramas son la base para el diseño de los dibujos en isométrico de tubería; ya que contienen todas las líneas de la planta con sus diámetros y dispositivos, así como los equipos que interconectan con sus respectivos instrumentos de control.

En los (D.T.I.) deben aparecer todos los equipos y sus tuberías asociadas, así como sus accesorios y sus dispositivos necesarios para el funcionamiento adecuado de la planta.

Una línea normalmente se enumera bajo el siguiente criterio.

En donde:

- 10" = Diámetro de línea
- P = Tipo de servicio (proceso)
- 3016 = Número asignado. Los dígitos indican el número de diagrama donde se encuentra la línea.
- 4 = Sección. Será la sección de la planta a que hagamos referencia.
- B1A = Especificación de la tubería.

Por tanto podemos decir que las normas y especificaciones de ingeniería, son documentos que describen los requisitos básicos que deben cumplirse para el diseño total de la planta.

Los códigos y estándares son los requisitos mínimos generales de diseño y construcción para el diseño de tuberías, así como las dimensiones de accesorios, válvulas, material les, rangos de presión y temperatura.

Aquí se encuentran las diversas clases de materiales que están involucradas en el proyecto. Cada clase cubre aspectos de los distintos materiales de construcción para tubo, así como válvulas y otros; además indica a la vez la gran gama de diámetros nominales y cédulas para tubo.

3.3 TABLAS DE DIAMETROS Y ESPESORES DE TUBERIA COMERCIAL DE ACERO AL CARBÓN, TALES COMO: TAYLOR FROGE, TUBE TURNS, - ETC.

Al final del capítulo aparecen gran variedad de tablas - que nos relacionan diámetros, espesores y cédulas de tu-

bería, dejando notar la gran relación que existe entre --ellos, así como sus diferencias.

3.4 APENDICE A, DEL CODIGO ANSI B-31.3

En esta parte del código encontraremos las tablas de propiedades mecánicas de los materiales para tubería, placa, forja, etc., en función de la temperatura. Además que dichas tablas que aparecen al final del capítulo y que corresponden al código antes mencionado, proporcionan el -- espesor de una tubería; una vez que en ellas hacemos las elecciones y consideraciones pertinentes, tanto del tipo de material como de presión, temperatura y diámetro que requiera nuestro proceso, procedemos a obtener así de dichas tablas el espesor correspondiente.

3.5 GRAFICAS DEL CODIGO ASME SECCION VIII, DIV. 1

Estas gráficas se utilizan únicamente para el caso de tuberías que trabajen con presiones vacuométricas (vacío) y su uso se describe en cada uno de los puntos del capítulo correspondiente.

En términos generales toda la información antes mencionada se puede decir que es la necesaria para el diseño de -- tubería y en específico el diseño del espesor de tubería.

IV. PROCEDIMIENTOS PARA LA OBTENCION DEL ESPESOR DE TUBERIA.

4.1 GENERALIDADES SOBRE EL CALCULO DE ESPESOR DE TUBERIA.

Los métodos mediante los cuales se puede efectuar los cálculos del espesor de pared de las tuberías, son los que se describen en los siguientes puntos del presente capítulo, éstos son:

- a) Método por presiones de trabajo.
- b) Métodos por presiones que producen esfuerzos unitarios de 10000 (psi).
- c) Método por fórmula general.

Para el cálculo de espesores y/o cédula de tubería existen los métodos anteriormente descritos, pero esto es para condiciones manométricas, es decir, condiciones de presión mayores a la atmosférica.

El primero y segundo método, son formas o una manera simplificada, esto es, que son los métodos que con el mínimo de información nos proporciona el espesor y/o cédula de tubería.

Los métodos por fórmula general son los que se basan en lo establecido por las diferentes secciones del código -- ANSI B-31.3 y nos proporcionan el espesor mínimo de pared teórico.

4.2 CALCULO DE ESPESORES DE TUBERIA POR EL METODO DE PRESIONES DE TRABAJO.

Este método sólo se aplica para tubería de acero al carbón sin costura en los grados A y B que corresponden a las secciones 1 y 5 del ANSI B-31.3 e incluye tolerancias por roscado, fabricación y corrosión.

Para determinar el espesor de tubería por este método, nos auxiliaremos de las tablas que nos tabulan las presiones de trabajo para tubería sin costura de acero al carbón en los grados A y B respectivamente.

Con la presión de trabajo, diámetro de tubería y temperatura, se determinará la cédula de tubería a emplear a 650°F (343°C). Se debe emplear un factor de corrección por temperatura que aparece en la parte inferior de las tablas II y III del capítulo IV. En la cédula correspondiente se verifica que el valor obtenido esté dentro de los límites de temperatura de 20°F a 650°F y en caso contrario usar los factores de corrección para temperaturas hasta de 900°F indicadas en la parte inferior de las tablas.

Con la finalidad de aclarar lo expuesto, daremos algunos ejemplos de lo anterior.

Ejemplo 1:

Determinar la cédula de tubería que tienen las siguientes características.

Diámetro : 6"
Material : (ASTM A53 GR A) Acero al carbón
Fluido : Agua caliente
Temperatura : 200°F
Presión : 600° psi

De lo cual concluimos lo siguiente: consultando la tabla - II, observamos que el valor de la presión más cercano al - de la presión de trabajo, inmediata superior, es de 666 psi y por tanto la cédula correspondiente es de pared estandar o de cédula 40.

Ejemplo 2:

Determinar la cédula de tubería que tienen las siguientes características.

Diámetro : 8"
Material : (ASTM A53 GR A) Acero al carbón
Fluido : Ar
Temperatura : 450°F
Presión : 850° psi

El espesor de pared por el método de presiones de trabajo, es obtenido de la siguiente forma: con el valor más cercano a la presión de trabajo y con el diámetro de tuberías, seleccionar de la tabla No. 2 el espesor de pared o la cédula adecuada.

Para el ejemplo 2, tenemos que el valor más cercano a la - presión de 850 psi con un diámetro nominal de 8" es de 830 psi, por lo que observando la tabla tenemos que es el valor más cercano a 850 psi y corresponde a una cédula de 60".

T A B L A 1

VALORES DE "Y" CUANDO $t > D/6$

Temperatura °F	900* y menores	950	1000	1050	1100	1150 y superiores
°C	482 y menores	510	538	566	593	621 y superiores
Aceros ferríticos	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7
Aceros austeníticos	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
Otros metales dúctiles	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Hierro fundido	0.0	-	-	-	-	-

NOTAS:

El valor de "Y" puede ser interpolado entre 50°F (27.8°C) y los valores mostrados en la Tabla. Para materiales no ferríticos y fundición "Y" es igual a 0.4.

- * Para tubos con una relación D_o/t_m menor que 6, el valor de "Y" para aceros ferríticos y austeníticos diseñados a una temperatura de 900°F (480°C) e inferiores será obtenido como:

$$Y = \frac{d}{d + D_o}$$

d = Diámetro interior, pulg. (mm).

D_o = Diámetro exterior, pulg. (mm).

TABLA B O ACERO AL CARBONO SIN COSTURA GRADO A
PRESION MAXIMA DE TRABAJO PERMISIBLE DE 20°F A 650°F

TEMPERATURA MAYOR TASA DE CARGA	GRADO A		GRADO B		GRADO C		GRADO D		GRADO E		K ₁
	CE1 20	CE2 30	STL 30	CE1 30	CE2 40	CE1 40	CE2 50	CE1 60	CE2 70	CE1 100	
100	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
125	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
150	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
175	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
200	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
225	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
250	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
275	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
300	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
325	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
350	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
375	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
400	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
425	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
450	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
475	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
500	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
525	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
550	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
575	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
600	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
625	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
650	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115

TABLA B O ACERO AL CARBONO SIN COSTURA GRADO B
PRESION MAXIMA DE TRABAJO PERMISIBLE DE -20°F A 650°F

TEMPERATURA MAYOR TASA DE CARGA	GRADO B		GRADO C		GRADO D		GRADO E		K ₁
	CE1 20	CE2 30	STL 30	CE1 30	CE2 40	CE1 40	CE2 50	CE1 60	
100	115	115	115	115	115	115	115	115	115
125	115	115	115	115	115	115	115	115	115
150	115	115	115	115	115	115	115	115	115
175	115	115	115	115	115	115	115	115	115
200	115	115	115	115	115	115	115	115	115
225	115	115	115	115	115	115	115	115	115
250	115	115	115	115	115	115	115	115	115
275	115	115	115	115	115	115	115	115	115
300	115	115	115	115	115	115	115	115	115
325	115	115	115	115	115	115	115	115	115
350	115	115	115	115	115	115	115	115	115
375	115	115	115	115	115	115	115	115	115
400	115	115	115	115	115	115	115	115	115
425	115	115	115	115	115	115	115	115	115
450	115	115	115	115	115	115	115	115	115
475	115	115	115	115	115	115	115	115	115
500	115	115	115	115	115	115	115	115	115
525	115	115	115	115	115	115	115	115	115
550	115	115	115	115	115	115	115	115	115
575	115	115	115	115	115	115	115	115	115
600	115	115	115	115	115	115	115	115	115
625	115	115	115	115	115	115	115	115	115
650	115	115	115	115	115	115	115	115	115

PARA LA PRESION MAXIMA DE TRABAJO PERMISIBLE A ALTA TEMPERATURA MULTIPLICAR
LOS VALORES LISTADO POR LOS SIG FACTORES

TEMPERATURA MAYOR TASA DE CARGA	GRADO B				
	T500	T550	T600	T650	T700
100	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
125	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
150	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
175	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
200	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
225	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
250	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
275	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
300	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
325	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
350	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
375	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
400	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
425	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
450	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
475	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
500	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
525	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
550	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
575	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
600	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
625	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
650	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Ejemplo 3:

Diámetro : 10"
Material : (ASTM A53 GR A) Acero al carbón
Fluido : Agua de enfriamiento
Temperatura : 350°F
Presión : 700 psi

Usando el mismo criterio que los pasos anteriores, procedemos a hacer la consideración pertinente para el presente ejemplo.

Una vez que tenemos los datos, procedemos de la misma forma considerando el diámetro y el valor más cercano a la presión de trabajo, obtenemos el número de cédula correspondiente a la tubería de dicho diámetro y esta es de: cédula 40, ya que el valor de la presión más cercana a 700 psi es 578 y corresponde al valor de 40.

4.3 CALCULO DE ESPESORES DE TUBERIAS POR PRESIONES QUE PRODUCEN ESFUERZOS UNITARIOS DE 10000 PSI

Este método aplica para tubería de acero al carbón, aceros aleados y aceros inoxidable que pertenecen a las secciones 1,2,3,4 y 5 del ANSI B-31.3 e incluye tolerancias por roscado, fabricación y corrosión.

Para determinar el espesor de tubería por este método nos auxiliaremos en las tablas III, IV y V.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

Se determina el esfuerzo máximo permisible (S) para el tipo de material, temperatura y sección correspondiente al código que se hace referencia en las tablas III y IV, después con el esfuerzo permisible (S) y la presión de trabajo (P) se determina la presión que produce un esfuerzo de 10000 psi (P_{10}) mediante la expresión siguiente:

$$P_{10} = \frac{P \times 10000}{S}$$

Con el valor de P_{10} determinado en la tabla V, se busca el valor de la cédula correspondiente según el diámetro de la tubería.

A continuación daremos algunos ejemplos para reafirmar lo anterior.

Determinar la cédula o espesor de una tubería con los datos siguientes:

Diámetro : 20"
Material : Tubo 2½ Cr-1 Mo ASTM-A369, Grado FP22
Fluido : Aceite como subproducto de refinería
Presión : 1100 Psig
Temperatura : 900°F (468°C)

Y la solución sería la siguiente:

Para el material estipulado y la temperatura de 900°F, el esfuerzo S_1 según el ANSI B-31.3, es: $S = 12600$

Ya que además tenemos de la relación:

$$P_{10} = \frac{P \times 10000}{S} \text{ y sustituyendo valores}$$

$$P_{10} = \frac{(1100) (10000)}{12800} = 859.37 \text{ psi}$$

De aquí localizamos la tabla IV y el valor más cercano al de P_{10} es de 866 psi que para 20" de diámetro y la cédula que corresponde a esa tubería con estos datos, será una cédula de 80.

Para aclarar un poco más daremos otro ejemplo:

Determinar el espesor de pared de una tubería bajo la siguiente condición.

Diametro : 30"
 Material : (ASTM) Acero al carbón
 Fluido : Vapor de alta
 Presión : 200 psi
 Temperatura : 450°F

Para este método la solución sería la siguiente:

Sustituyendo valores en la relación correspondiente tenemos.

$$P_{10} = \frac{(200 \frac{\text{Lb}}{\text{in}} 2) (10,000)}{12800}$$

$$P_{10} = 156.25 \text{ psi } \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

Cuyo valor más cercano es de 177 y corresponde a una cédula la estandar (pared standar) en la tabla IV.

TABLA II
DIMENSIONES DE TUBERIA DE ACERO AL CARBONO Y DE ALEACION

ESPESES NOMINAL DE TUBERIA	ESPESES NOMINAL DE PARED										P.E. STRONG	
	SCHED 40	SCHED 40	SCHED 40	SCHED 40	SCHED 40	SCHED 40	SCHED 40	SCHED 40	SCHED 40	SCHED 40		
1/4	0.405	0.405	0.405	0.405	0.405	0.405	0.405	0.405	0.405	0.405	0.405	0.405
1/2	0.540	0.540	0.540	0.540	0.540	0.540	0.540	0.540	0.540	0.540	0.540	0.540
3/8	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675	0.675
1	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840
1 1/2	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050
2	1.315	1.315	1.315	1.315	1.315	1.315	1.315	1.315	1.315	1.315	1.315	1.315
2 1/2	1.575	1.575	1.575	1.575	1.575	1.575	1.575	1.575	1.575	1.575	1.575	1.575
3	1.845	1.845	1.845	1.845	1.845	1.845	1.845	1.845	1.845	1.845	1.845	1.845
3 1/2	2.115	2.115	2.115	2.115	2.115	2.115	2.115	2.115	2.115	2.115	2.115	2.115
4	2.385	2.385	2.385	2.385	2.385	2.385	2.385	2.385	2.385	2.385	2.385	2.385
4 1/2	2.655	2.655	2.655	2.655	2.655	2.655	2.655	2.655	2.655	2.655	2.655	2.655
5	2.925	2.925	2.925	2.925	2.925	2.925	2.925	2.925	2.925	2.925	2.925	2.925
5 1/2	3.195	3.195	3.195	3.195	3.195	3.195	3.195	3.195	3.195	3.195	3.195	3.195
6	3.465	3.465	3.465	3.465	3.465	3.465	3.465	3.465	3.465	3.465	3.465	3.465
6 1/2	3.735	3.735	3.735	3.735	3.735	3.735	3.735	3.735	3.735	3.735	3.735	3.735
7	4.005	4.005	4.005	4.005	4.005	4.005	4.005	4.005	4.005	4.005	4.005	4.005
7 1/2	4.275	4.275	4.275	4.275	4.275	4.275	4.275	4.275	4.275	4.275	4.275	4.275
8	4.545	4.545	4.545	4.545	4.545	4.545	4.545	4.545	4.545	4.545	4.545	4.545
8 1/2	4.815	4.815	4.815	4.815	4.815	4.815	4.815	4.815	4.815	4.815	4.815	4.815
9	5.085	5.085	5.085	5.085	5.085	5.085	5.085	5.085	5.085	5.085	5.085	5.085
9 1/2	5.355	5.355	5.355	5.355	5.355	5.355	5.355	5.355	5.355	5.355	5.355	5.355
10	5.625	5.625	5.625	5.625	5.625	5.625	5.625	5.625	5.625	5.625	5.625	5.625
10 1/2	5.895	5.895	5.895	5.895	5.895	5.895	5.895	5.895	5.895	5.895	5.895	5.895
11	6.165	6.165	6.165	6.165	6.165	6.165	6.165	6.165	6.165	6.165	6.165	6.165
11 1/2	6.435	6.435	6.435	6.435	6.435	6.435	6.435	6.435	6.435	6.435	6.435	6.435
12	6.705	6.705	6.705	6.705	6.705	6.705	6.705	6.705	6.705	6.705	6.705	6.705
12 1/2	6.975	6.975	6.975	6.975	6.975	6.975	6.975	6.975	6.975	6.975	6.975	6.975
13	7.245	7.245	7.245	7.245	7.245	7.245	7.245	7.245	7.245	7.245	7.245	7.245
13 1/2	7.515	7.515	7.515	7.515	7.515	7.515	7.515	7.515	7.515	7.515	7.515	7.515
14	7.785	7.785	7.785	7.785	7.785	7.785	7.785	7.785	7.785	7.785	7.785	7.785
14 1/2	8.055	8.055	8.055	8.055	8.055	8.055	8.055	8.055	8.055	8.055	8.055	8.055
15	8.325	8.325	8.325	8.325	8.325	8.325	8.325	8.325	8.325	8.325	8.325	8.325
15 1/2	8.595	8.595	8.595	8.595	8.595	8.595	8.595	8.595	8.595	8.595	8.595	8.595
16	8.865	8.865	8.865	8.865	8.865	8.865	8.865	8.865	8.865	8.865	8.865	8.865
16 1/2	9.135	9.135	9.135	9.135	9.135	9.135	9.135	9.135	9.135	9.135	9.135	9.135
17	9.405	9.405	9.405	9.405	9.405	9.405	9.405	9.405	9.405	9.405	9.405	9.405
17 1/2	9.675	9.675	9.675	9.675	9.675	9.675	9.675	9.675	9.675	9.675	9.675	9.675
18	9.945	9.945	9.945	9.945	9.945	9.945	9.945	9.945	9.945	9.945	9.945	9.945
18 1/2	10.215	10.215	10.215	10.215	10.215	10.215	10.215	10.215	10.215	10.215	10.215	10.215
19	10.485	10.485	10.485	10.485	10.485	10.485	10.485	10.485	10.485	10.485	10.485	10.485
19 1/2	10.755	10.755	10.755	10.755	10.755	10.755	10.755	10.755	10.755	10.755	10.755	10.755
20	11.025	11.025	11.025	11.025	11.025	11.025	11.025	11.025	11.025	11.025	11.025	11.025
20 1/2	11.295	11.295	11.295	11.295	11.295	11.295	11.295	11.295	11.295	11.295	11.295	11.295

DIMENSIONES DE TUBERIA DE ACERO INOXIDABLE

ESPESES NOMINAL DE TUBERIA	DIAMETRO EXTERIOR	ESPESES NOMINAL DE PARED			
		CECULA 2S	CECULA 10S	CECULA 40S	CECULA 80S
1/4	0.405	0.049	0.049	0.069	0.095
1/2	0.540	0.065	0.065	0.089	0.119
3/8	0.675	0.085	0.085	0.091	0.128
1	0.840	0.105	0.105	0.109	0.147
1 1/2	1.050	0.125	0.125	0.113	0.154
2	1.315	0.145	0.145	0.133	0.179
2 1/2	1.575	0.165	0.165	0.140	0.181
3	1.845	0.185	0.185	0.145	0.200
3 1/2	2.115	0.205	0.205	0.134	0.218
4	2.385	0.225	0.225	0.203	0.274
4 1/2	2.655	0.245	0.245	0.216	0.310
5	2.925	0.265	0.265	0.220	0.318
5 1/2	3.195	0.285	0.285	0.280	0.337
6	3.465	0.305	0.305	0.280	0.352
6 1/2	3.735	0.325	0.325	0.327	0.360
7	4.005	0.345	0.345	0.365	0.360
7 1/2	4.275	0.365	0.365	0.375	0.360
8	4.545	0.385	0.385	0.375	0.360
8 1/2	4.815	0.405	0.405	0.375	0.360
9	5.085	0.425	0.425	0.375	0.360
9 1/2	5.355	0.445	0.445	0.375	0.360
10	5.625	0.465	0.465	0.375	0.360
10 1/2	5.895	0.485	0.485	0.375	0.360
11	6.165	0.505	0.505	0.375	0.360
11 1/2	6.435	0.525	0.525	0.375	0.360
12	6.705	0.545	0.545	0.375	0.360
12 1/2	6.975	0.565	0.565	0.375	0.360
13	7.245	0.585	0.585	0.375	0.360
13 1/2	7.515	0.605	0.605	0.375	0.360
14	7.785	0.625	0.625	0.375	0.360
14 1/2	8.055	0.645	0.645	0.375	0.360
15	8.325	0.665	0.665	0.375	0.360
15 1/2	8.595	0.685	0.685	0.375	0.360
16	8.865	0.705	0.705	0.375	0.360
16 1/2	9.135	0.725	0.725	0.375	0.360
17	9.405	0.745	0.745	0.375	0.360
17 1/2	9.675	0.765	0.765	0.375	0.360
18	9.945	0.785	0.785	0.375	0.360
18 1/2	10.215	0.805	0.805	0.375	0.360
19	10.485	0.825	0.825	0.375	0.360
19 1/2	10.755	0.845	0.845	0.375	0.360
20	11.025	0.865	0.865	0.375	0.360
20 1/2	11.295	0.885	0.885	0.375	0.360

TABLA IV

VALORES DE P.10													
(PRESIONES QUE DESARROLLAN UN ESFUERZO DE 10000 PSI)													
DIAMETRO NOMINAL DE TUBO	DESIGNACION DEL ESPESOR DE PARED - ASA B36.10												
	CFD 10	CFD 70	CFD 30	CFD STD	CFD 40	CFD 60	CFD EXTRA FUERTE	CFD 80	CFD 100	CFD 120	CFD 140	CFD 160	PSI
1/2	---	---	---	1129	1129	---	2024	2024	---	---	---	---	1034
3/4	439	---	---	967	967	---	1726	1726	---	---	---	---	1003
1	710	---	---	1052	1052	---	1734	1734	---	---	---	---	2660
1 1/4	371	---	---	955	955	---	1294	1294	---	---	---	---	2001
1 1/2	324	---	---	669	669	---	1214	1214	---	---	---	---	2061
2	258	---	---	602	602	---	1106	1106	---	---	---	---	2150
2 1/2	281	---	---	809	809	---	1291	1291	---	---	---	---	1975
3	231	---	---	729	729	---	1182	1182	---	---	---	---	1955
3 1/2	202	---	---	682	682	---	1114	1114	---	---	---	---	---
4	179	---	---	649	649	---	1065	1065	---	1495	---	---	1912
5	189	---	---	592	592	---	983	983	---	1415	---	---	1861
6	159	---	---	555	555	---	982	982	---	1358	---	---	1825
8	150	362	418	513	513	692	895	895	1099	1378	1592	1810	1737
10	149	289	385	482	482	713	713	874	1094	1317	1604	1836	---
12	146	244	356	420	464	688	598	870	1107	1339	1530	1823	---
14	222	301	382	382	462	666	544	874	1127	1342	1561	1783	---
16	194	263	333	333	474	653	474	870	1092	1317	1585	1779	---
18	172	233	358	296	483	675	421	868	1098	1332	1535	1777	---
20	155	266	378	266	462	663	378	866	1102	1313	1558	1775	---
22	141	---	---	242	---	---	343	---	---	---	---	---	---
24	129	221	361	221	453	669	314	863	1109	1335	1539	1771	---
26	---	---	---	204	---	---	290	---	---	---	---	---	---
30	139	251	325	177	---	---	251	---	---	---	---	---	---
36	---	---	---	147	---	---	209	---	---	---	---	---	---
42	---	---	---	126	---	---	179	---	---	---	---	---	---

LOS VALORES LISTADOS, NO APLICAN A TEMPERATURAS ARRIBA DE 900°F
LA CÉLULA INICIA CON 1/4" DE DIAMETRO

LOS VALORES TABULADOS SON COMPUTADOS CON FORMULA

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

POUNDS PER SQ. IN. Y
% TOLERANCIA POR CORROSION

T A B L A V

EJEMPLOS "SE" DE MATERIALES PARA LA FABRICACION DE TUBERIA

Temp. ° F.	Ac. al car- bóno A52 Gr. B.	Ac. al car- bóno A333 Gr. B	18Cr-12Ni Ac. Inox. A312 Gr. TP 304 L	18Cr-12Ni-2 Mo. Ac. al car- bóno A312 Gr. 1 P31CH.	9Cr1/2Mo Ac. aleado A335 Gr. P5.	1 1/4Cr- 1/2Mo. Ac. alea- do. A335 Gr. P11	3 1/2Ni- quel Ac. aleado A333 Gr. 3	Carbóno 1/2 Mo. A335 Gr. P1
100	20 000	17 000	16 650	20 000	20 000	20 000	21 700	19 300
200	20 000	17 000	16 650	20 000	18 100	18 700	19 600	18 300
300	20 000	17 000	16 650	20 000	17 400	18 000	19 000	17 500
400	20 000	17 000	15 750	19 250	17 200	17 500	18 700	16 900
500	18 800	16 300	14 750	17 950	17 100	17 200	17 750	16 300
600	17 300	14 700	13 850	17 000	16 800	16 700	16 750	15 700
650	17 000	14 500	13 700	16 650	16 600	16 200	16 250	15 400
700	16 800	14 000	13 450	16 300	16 300	15 600	15 500	15 100
750	13 000	11 000	13 250	16 050	13 200	15 000	13 850	13 800
800	10 800	9 200	13 000	15 650	12 800	15 000	11 400	13 500
850	8 700	7 350	12 600	15 700	12 100	14 400	8 950	13 150
900	6 500	5 500	11 900	15 550	10 900	13 100	6 500	12 700
950	4 500	3 800	9 900	15 400	8 000	11 000	4 500	8 200
1000	2 500	2 150	7 800	15 300	5 800	7 800	2 500	4 800
1050	1 500	-	5 300	14 500	4 200	5 500	1 600	-
1100	1 000	-	5 100	12 400	2 900	4 000	1 000	-
1150	-	-	4 000	9 800	2 000	2 500	-	-
1200	-	-	3 250	7 400	1 300	1 200	-	-
1250	-	-	2 600	5 450	-	-	-	-
1300	-	-	2 100	4 100	-	-	-	-
1350	-	-	1 700	3 050	-	-	-	-
1400	-	-	1 100	2 250	-	-	-	-
1450	-	-	1 000	1 700	-	-	-	-
1500	-	-	500	1 250	-	-	-	-

NOTA: Para materiales no cubiertos en esta Tabla, consultar el Apéndice "A" del ANSI B31.3.

* Para temperaturas arriba de 900° F considerar las ventajas del acero "calmado". La conversión de carbón a grafito puede ocurrir después de una exposición prolongada a una temperatura arriba de 800° F.

TABLA VI

MATERIAL	GRAFICA	MATERIAL	GRAFICA
AC AL CARBONO SA-53	FIGURA 3	AC ALEADO 1/4 Cr- 1/2 Mo SA-335 Gr P11	FIGURA 3
AC AL CARBONO SA-333 Gr 6	FIGURA 3	AC ALEADO 312 NIQUEL SA-333 Gr 3	FIGURA 3
AC INOXIDABLE 16 Cr- BN1 SA-312 TP 304 L	FIGURA 5	CARBONO- 1/4 Mo SA-335 Gr P1	FIGURA 3
AC ALTA ALEACION 16 Cr-12Ni- 2Mo SA-312 TP 316H	FIGURA 4	SA-315 Gr 55, 60,65,70	FIGURA 3
AC ALEADO 5Cr- 1/2 Mo SA-335 Gr P5	FIGURA 3	SA-387 Gr 11, CL1	FIGURA 2

NOTA PARA MATERIALES NO CONSIDERADOS AQUI CONSULTAR EL CODIGO ASME SECCION VIII DIV 1

TABLA VII

CLASIFICACION DE MATERIALES USADADOS EN FIG. 6 y 7

N.C.	MATERIAL	GRUPO	TIPO USADO EN FIG. 6 y 7	N.C.	MATERIAL	GRUPO	TIPO USADO EN FIG. 6 y 7	N.C.	MATERIAL	GRUPO	TIPO USADO EN FIG. 6 y 7																																		
1	SA-53	-	B	24	SA-178	A1C	B	47	SA-213	T001	B																																		
2	SA-282	A y B	A	25	SA-220	-	A	48	SA-333	4 y 5	B																																		
3	SA-283	C y D	B	26	SA-334	I	A	49	SA-334	7 y 8	B																																		
4	SA-285	A y B	A	27	SA-334	6	B	50	SA-335	T001	B																																		
5	SA-285	C	B	28	SA-337	A	A	51	SA-339	T001	B																																		
6	SA-414	A y B	A	29	SA-337	B	B	52	SA-413	1 y 2	B																																		
7	SA-414	C D E y F	B	30	SA-337	-	B	53	SA-750	1 y 2	A																																		
8	SA-442	50 y 60	B	31	SA-105	-	B	54	SA-750	3, 4, 5	B																																		
9	SA-455	T001	B	32	SA-61	1 y 11	B	55	SA-334	7 y 8	B																																		
10	SA-505	T001	B	33	SA-214	WCA y WCB	B	56	SA-423	1 y 2	B																																		
11	SA-516	T001	B	34	SA-266	T001	B	57	SA-217	W.C	B																																		
12	SA-557	MSA 2 3 4 5 6	B	35	SA-350	LF1 y LF2	B	58	SA-207	LF1, 2, 3	B																																		
13	SA-53	A y B	B	36	SA-351	LCR	B	59	SA-336	LF1, 2	B																																		
14	SA-106	A B y C	B	37	SA-370	I	B	60	SA-334	LF1, 2	B																																		
15	SA-78	-	A	38	SA-705	A y D	B	61	SA-350	LF1, 2	B																																		
16	SA-192	-	A	40	SA-704	2 CL1	B	62	SA-352	LC	B																																		
17	SA-332	L	B	41	SA-387	12 CL1	B	63	SA-308	I	B																																		
18	SA-334	-	B	42	SA-387	11 CL1	B	64	SA-341	I	B																																		
19	SA-334	-	B	43	SA-387	22 CL1	B	65	SA-266	TRAS 1, 4, 5	B																																		
20	SA-334	-	B	44	SA-387	21 CL1	B	66	SA-266	21	SA-336	AC	A	45	SA-199	T001	B	67	SA-479	MS	B	22	SA-53	A y B	B	46	SA-209	T001	B					23	SA-332	A y B	B								
21	SA-336	AC	A	45	SA-199	T001	B	67	SA-479	MS	B																																		
22	SA-53	A y B	B	46	SA-209	T001	B																																						
23	SA-332	A y B	B																																										

4.4 CALCULO DEL ESPESOR DE PARED DE TUBERIA POR FORMULA GENERAL

El cálculo del espesor de pared para tuberías es el más exacto con el uso de la fórmula del código ANSI B-31.3.

$$T_m = \frac{D_o P}{2(SE+PY)} + C$$

De esta fórmula se obtiene el espesor mínimo requerido a la presión de diseño y que no se considera una tolerancia por fabricación del orden de 12.5% del valor del T_m sin considerar "C", por lo que podría escribirse la fórmula como:

$$T = \left(\frac{D_o P}{2(SE + PY)} \right) 1.125 + C$$

Donde tenemos que:

T = Espesor mínimo de pared (in) (mm)

T_m = Espesor mínimo a la presión de diseño (in) (mm)

P = Presión de diseño interna (PSI) (KPa)

D_o = Diámetro exterior del tubo (in) (mm)

S_e = Esfuerzo máximo de trabajo permisible del material, tabla V.

C = Tolerancia de corrosión, erosión, compensación y por roscado (in) (mm)

1.125 = Tolerancia por fabricación

Aquí también daremos algunos ejemplos para observar con este método el cálculo del espesor de tubería.

Ejemplo:

Determinar la cédula de una tubería de 20" de ϕ la cual -- transporta vapor de calentamiento a una temperatura de --- 560°F y una presión de 600 Psig, el material del tubo es - acero al carbón.

ASTM-A53 GR.B con una tolerancia a la corrosión de 0.05"

La solución es la siguiente:

Datos:

Temperatura = 560°F
Presión = 600 PSIG
Do = 20"
Se = 17940
Y = 0.4
C = 0.05"

Sustituyendo valores en la ex. correspondiente:

$$T = \frac{20 (600)}{2 (17,940 + 600 (04))} (1.125) + 0.05$$

$$T = \frac{12000}{36360} = (1.125) + 0.05 = 0.3713 + 0.05$$

$$T = 0.421$$

Con el valor T y Y incurriendo en la tabla No. III, seleccionando el valor más cercano, el cual corresponderá a la cédula deseada, la que para este caso es: Cédula 30 con - 0.500" de espesor por lo que:

T = 0.500" de Espesor Nominal

4.5) CALCULO DE ESPESOR DE PARED DE TUBERIAS DE OTROS MATERIALES

- 4.5.1) Las tuberías de PVC se emplean extensamente en - instalaciones sanitarias (conducción de agua de desecho), eléctricas (como protector de cables), industriales (conducción de fluidos corrosivos), gas natural y L.P. (líneas de distribución de -- gas), hidráulica (redes de distribución de agua).

Comportamiento de las tuberías de P.V.C.

La tubería de P.V.C. es altamente resistente al ataque químico de ácidos, álcalis y soluciones salinas.

RD es la relación de diámetro exterior a espesor de pared.

Algunos hidrocarburos se absorben en el PVC causando pérdidas momentáneas en sus propiedades mecánicas, sin embargo estas propiedades se restablecen cuando los hidrocarburos se evaporan.

Resistencia y propiedades mecánicas del PVC tipo 1, grado 1, clasificación 1114.

A continuación se enumeran las propiedades mecánicas más importantes de acuerdo a los métodos recomendados por ASTM.

Densidad	1.4 g/cm ²
Resistencia a la tensión	450 Kg/cm ²
Elongación máxima	10%
Módulo de elasticidad	3.0 x 10 ⁴ Kg/cm ²

Relación de Poisson	0.3
Dureza (Shored)	70
Dilatación térmica lineal	8×10^{-5} cm/cm/°C

Las tuberías de PVC están diseñadas para trabajar dentro de su rango elástico al igual que las tuberías de acero, y en general de todas aquellas fabricadas con los materiales clasificados como viscoelásticos.

Las tuberías de PVC para conducción de agua están calculadas con el esfuerzo permisible de diseño de 140 Kg/cm^2 , mismo valor que se emplea en Estados Unidos y otros países para asegurar que la tubería de PVC siempre trabaje dentro de su rango elástico.

La selección del valor de esfuerzo de diseño parte básicamente de dos criterios: el norteamericano y el alemán, estos criterios son los que se usan normalmente pero en cada país. En función de sus condiciones climatológicas de suelo, disponibilidad de materias primas, condiciones de instalación y otros factores, se han ido modificando de acuerdo a sus necesidades de estos dos criterios base, seleccionados como patrón.

Los espesores de pared de los tubos de PVC están calculados de acuerdo con la expresión universalmente aprobada en la recomendación ISO-R-161 para tubos de plástico para conducción de fluidos a presión.

En donde:

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

- S = Esfuerzo de diseño o sea el esfuerzo hidrostático máximo de trabajo = 140 kg/cm^2
 P = Presión de trabajo kg/cm^2
 D = Diámetro exterior [cm]
 t = Espesor mínimo de pared [cm]

La nomenclatura empleada por la norma nacional para definir las presiones de trabajo en función de la relación de dimensiones "RD" está de acuerdo a la ASTM (33) y se expresa con la ecuación siguiente:

$$RD = \frac{D}{t}$$

Donde:

- D = Diámetro exterior [cm]
 t = Espesor de pared [cm]

Combinando las ecuaciones anteriores, se tiene:

$$\frac{2S}{P} = RD - 1 \qquad S = \frac{(RD - 1)}{2} P$$

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, se ha seleccionado el valor de 140 kg/cm^2 (S) como el esfuerzo de diseño para asegurar que el tubo de PVC trabaje siempre de su rango elástico.

Para relacionar los esfuerzos a la tensión con la presión de trabajo se da el siguiente ejemplo:

Se tiene un tubo de PVC con un diámetro exterior de

114.2 mm. Calcular el espesor de pared mínimo si la presión de trabajo es de $P = 7 \text{ Kg/cm}^2$, usando:

$$\frac{2 S}{P} = R D - 1 \text{ y sabiendo que } R D = \frac{D}{t}$$

$$\frac{2 S}{P} = \frac{D}{t} - 1; t = \frac{D}{\left(\frac{2S}{P} + 1\right)} \quad t = \frac{7 \text{Kg/cm}^2 (11.42 \text{cm}) - 1}{2(140) \text{ Kg/cm}^2}$$

$$= 0.28 \text{ cm} \quad t = 2.8 \text{ mm}$$

La presión mínima de reventamiento (entre 60 y 90 seg.) para este ejemplo, se calcula usando 450 -- Kg/cm^2 como valor de S o sea que la presión de reventamiento o presión crítica es igual a:

$$P = \frac{2 S}{RD-1} = \frac{2(450) [\text{Kg/cm}^2]}{\frac{11.42 (\text{cm})}{.28 (\text{cm})} - 1} = \frac{900 \text{ Kg/cm}^2}{41 - 1} = \frac{900}{40} =$$

$$22.5 \text{ Kg/cm}^2$$

Y podemos decir que el factor de seguridad es:

$$\text{Factor de seguridad} = \frac{\text{Presión de reventamiento}}{\text{Presión de trabajo}} =$$

$$\frac{22.5}{7} = 3.21$$

Esto es, como el tubo siempre trabaja dentro de un régimen elástico, el factor de seguridad es de 3.2, no siendo afectado por cargas externas.

Presiones de trabajo y presiones de reventamiento en tuberías de PVC.

RELACION DE DIMENSIONES R.D.	PRESION MINA DE REVENTAMIENTO - DGN E-12-68	PRESION DE TRABAJO SEGUN NORMA DGN -- E-12-68
26	35.5 Kg/cm ²	11.2 Kg/cm ²
32.5	28. Kg/cm ²	9.1 Kg/cm ²
41	22.4 Kg/cm ²	7.1 Kg/cm ²
64	14 Kg/cm ²	4.5 Kg/cm ²

4.5.2 Tuberías de cobre

Tuberías de cobre de temple rígido.

Las tuberías rígidas de cobre tienen la característica de ser ideales en la conducción de fluidos. - En las instalaciones fijas se fabrican normalmente en 4 tipos que ofrecen una gama de servicios que van desde las redes de drenaje o ventilación hasta redes de tipo industrial que conduzcan líquidos o gases a temperaturas y presiones considerablemente elevadas.

A continuación se da una descripción de todas y -- cada una de ellas.

Tubería tipo M.

Se fabrica para ser usada en instalaciones hidráulicas de agua fría y caliente para casas habitación y edificios en general en donde las presiones de - servicio sean bajas.

El color de identificación para esta tubería es el rojo y se fabrica en diámetros comerciales de 3/8" a 4". (Ver tabla tipo M)

Tipo L.

Es un tipo de tubería a usarse en instalaciones - hidráulicas en condiciones más severas de servicio y seguridad que la tipo M, como por ejemplo - en instalaciones de gas domiciliario y servicios subterráneos, (tomas domiciliarias) calefacción, refrigeración, etc.

Se identifica por el color azul y se fabrica en - diámetros comerciales de 3/8" hasta 6". (Ver tabla tipo L)

Tipo K.

Es la denominación para las tuberías que por sus características se recomienda en instalaciones de tipo industrial conduciendo líquidos y gases en - condiciones más severas de presión y temperatura, el color verde identifica a este tipo de tubería y se fabrica desde 3/8 hasta 6" de diámetro nominal. (Ver tabla tipo K)

Tipo DWV.

Se recomienda usar en instalaciones sanitarias y de ventilación en donde no existen presiones internas en el servicio, dando una gran eficacia y duración en este tipo de instalaciones, su color de identificación es el amarillo y los diámetros de fabricación son de 1 1/4" hasta 5". (Ver tabla -- tipo DWV).

Los diámetros de las tuberías rígidas son nominales (de nombre). Para conocer el diámetro exterior

correspondiente se debe aumentar $1/8"$ al diámetro nominal y si se quiere el diámetro interior, basta rá con restar 2 veces el espesor de pared.

Las presiones máximas dadas son las que soportan - cada una de las tuberías, recomendándose no llegar nunca a éstas.

Las presiones constantes de trabajo son las recomendadas a utilizar en la instalación durante toda la vida.

Esta presión es 5 veces menor que la máxima para - dar seguridad y duración en el servicio.

CARACTERISTICAS Y VENTAJAS DE LAS TUBERIAS DE TEMPLE RIGIDO.

La tubería de cobre y su uso en las instalaciones hidrosanitarias presenta las siguientes características:

- 1) Resistencia a la corrosión presenta un excelente comportamiento frente a la totalidad de los materiales de construcción y de los fluidos a manejar, asegurando así una larga vida útil a la instalación.
- 2) Se fabrica sin costura, por lo cual resiste -- sin dificultad las presiones internas de trabajo, permitiendo el uso de tubos de pared delgada e instalándose en espacios reducidos.
- 3) Continuidad de flujo debido a que su interior es liso y terso, admite un mínimo de pérdida -

por fricción al paso de los fluidos a conducir, manteniendo los flujos constantes.

- 4) Facilidad de unión: el sistema por soldadura - capilar permite efectuar con rapidez y seguridad las uniones de la tubería.
- 5) La sencillez del proceso para cortar el tubo y ejecutar las uniones, así como la ligereza del material permiten la prefabricación de gran -- parte de las instalaciones, obteniéndose rapidez y calidad en el trabajo, así como mayor -- control de los materiales pudiendo reducir -- los costos.

TUBERIAS DE TEMPLE FLEXIBLE.

Las características de las tuberías de cobre flexible difieren de las tuberías rígidas, presisamente en el temple dado en su proceso de fabricación, -- por lo tanto las condiciones de su uso serán diferentes aún cuando las tuberías de los dos temples sean de una misma instalación.

Los dos tipos de tuberías de cobre que se fabrican en temple flexible difieren tanto de los espesores de pared con que se fabrican como en sus diámetros.

Las tuberías de cobre flexible a diferencia de las rígidas se identifican solamente por el grabado, - el color en este caso no se usa y se marca únicamente el tipo de tubería, su diámetro, la marca, - la leyenda Hecho en México y el sello de DGN.

La tubería tipo "L" flexible se fabrica en rollos de 18.30 mts. de longitud en diámetros nominales de 1/4" a 1". (Ver tabla "L" Flexible)

La tubería para gas usos generales, se fabrica en rollos de 15.24 mts. de longitud en diámetros de 1/8" a 3/4", siendo la medida real exterior y -- para obtener el diámetro interior se le restan -- dos veces su espesor de pared.

Los usos para estos tipos de tuberías son dados -- por la capacidad de movimientos de éstas sin restar ventajas a la instalación en cuestión, las -- instalaciones de gas, tomas domiciliarias, aparatos de refrigeración y aire acondicionado son solamente algunas formas de su uso, sin embargo en cualquier instalación que requiera de movilidad o en donde se requieren de curvados especiales, las tuberías de cobre están presentes.

Características y Ventajas de las Tuberías de Cobre de Temple Flexible.

- 1) La longitud de los rollos con que se fabrican estos tipos de tuberías, elimina en la mayoría de las instalaciones las uniones de acoplamiento, creando así una instalación continua y de una sola pieza. El sistema de unión de estas tuberías es variado y da siempre flexibilidad a la misma sin restar hermeticidad y resistencia a la presión.
- 2) Todas las tuberías de cobre tanto rígidas -- como flexibles resisten perfectamente a la corrosión, lo que les permite un excelente comportamiento frente a la totalidad de los mate

TABLA TIPO "M"

MEDIDA NOMINAL PULG. MILIMETROS	DIAMETRO EXTERIOR PULG. MILIMETROS	DIAMETRO INTERIOR PULG. MILIMETROS	GRUESO PARED PULG. MILIMETROS	PESO EN: LBS. POR PIE KGS. POR M.	PESO POR TRAMO: LBS. KGS.	PRESION MAXIMA: LBS. PULG ² KGS. CM ²	PRESION CONSTANTE LBS. PULG ² KGS. CM ²	FLUJO EN: G.P.M. L.P.M.
1/4" 6.35 mm	0.375" 9.525	0.325" 8.255	0.025" 0.635	0.107 0.159	2.132 0.968	6133 431.15	1226 86.18	
3/8" 9.5 mm	0.500" 12.700	0.450" 11.430	0.025" 0.635	0.145 0.216	2.903 1.318	4500 316.35	900 63.27	2.247 8.507
1/2" 12.7 mm	0.625" 15.875	0.569" 14.453	0.028" 0.711	0.204 0.304	4.083 1.854	4032 283.45	806 56.66	4.064 15.382
3/4" 19 mm	0.875" 22.225	0.811" 20.599	0.032" 0.812	0.328 0.488	6.566 2.981	3291 231.35	658 46.25	10.656 40.333
1" 25 mm	1.125" 28.575	1.055" 26.797	0.035" 0.889	0.465 0.693	9.310 4.227	2800 196.84	560 39.36	21.970 83.180
1 1/4" 32 mm	1.375" 34.925	1.291" 32.791	0.042" 1.067	0.683 1.016	13.656 6.200	2749 193.25	550 38.66	39.255 148.580
1 1/2" 38 mm	1.625" 41.275	1.527" 38.785	0.049" 1.245	0.941 1.400	18.821 8.545	2713 190.72	542 38.10	62.335 235.940
2" 51 mm	2.125" 53.975	2.009" 51.029	0.058" 1.473	1.461 2.176	29.233 13.272	2470 173.65	491 34.51	131.000 495.860
2 1/2" 64 mm	2.625" 66.675	2.495" 63.373	0.065" 1.651	2.032 3.025	40.647 18.454	2228 156.62	445 31.28	231.461 876.010
3" 76 mm	3.125" 79.375	2.981" 75.718	0.072" 1.889	2.683 3.994	53.663 24.363	2073 145.73	414 29.10	375.189 1420.090
4" 102 mm	4.125" 104.775	3.935" 99.949	0.095" 2.413	4.665 6.945	93.310 42.363	2072 145.65	414 29.10	799.395 3025.710

TABLA TIPO "L"

MEDIDA NOMINAL PULG. MILIMETROS	DIAMETRO EXTERIOR PULG. MILIMETROS	DIAMETRO INTERIOR PULG. MILIMETROS	GRUESO PARED PULG. MILIMETROS	PESO EN: LBS. POR PIE KGS. POR M.	PESO POR TRAMO: LBS. KGS.	PRESION MAXIMA LBS. PULG. ² KGS. CM ²	PRESION CONSTANTE LBS. PULG. ² KGS. CM ²	FLUJO EN: G.P.M. L.P.M.
1/4" 6.35 mm	0.375" 9.525	0.315" 8.001	0.030" 0.762	0.126 0.187	2.524 1.146	7200 506.16	1440 101.23	
3/8" 9.5 mm	0.500" 12.700	0.430" 10.922	0.035" 0.889	0.198 0.295	3.965 1.800	6300 442.89	1260 88.57	1.873 7.089
1/2" 12.7 mm	0.625" 15.875	0.545" 13.843	0.040" 1.016	0.285 0.424	5.705 2.590	5760 404.92	1152 80.98	3.565 13.493
3/4" 19 mm	0.875" 22.225	0.785" 19.939	0.045" 1.143	0.455 0.678	9.110 4.136	4632 325.62	926 65.09	9.600 36.336
1" 25 mm	1.125" 28.575	1.025" 26.035	0.050" 1.270	0.655 0.976	13.114 5.954	4000 281.20	800 56.24	19.799 74.940
1 1/4" 32 mm	1.375" 34.925	1.265" 32.131	0.055" 1.397	0.885 1.317	17.700 8.036	3600 253.08	720 50.61	35.048 123.660
1 1/2" 38 mm	1.625" 41.275	1.505" 38.227	0.060" 1.524	1.143 1.698	22.826 10.363	3323 233.60	664 46.67	56.158 212.560
2" 51 mm	2.125" 53.975	1.985" 50.419	0.070" 1.778	1.752 2.608	35.042 15.909	2965 208.43	593 41.68	119.099 450.790
2 1/2" 64 mm	2.625" 66.675	2.465" 62.611	0.080" 2.032	2.483 3.695	49.658 22.545	2742 192.76	548 38.52	214.298 811.120
3" 76 mm	3.125" 79.375	2.945" 74.803	0.090" 2.286	3.332 4.962	66.645 30.257	2592 182.21	518 36.41	347.397 1314.900
4" 102 mm	4.125" 104.775	3.905" 99.187	0.110" 2.794	5.385 8.017	107.729 48.909	2400 168.72	480 33.74	747.627 2829.770
6" 152 mm	6.125" 152.575	5.845" 148.463	0.140" 3.556	10.218 15.209	204.357 92.778	2000 140.60	400 28.12	

TABLA TIPO "K"

MEDIDA NOMINAL	DIAMETRO EXTERIOR	DIAMETRO INTERIOR	GRUESO PARED	PESO LBS. POR PIE KGS. POR M.	PESO POR TRAMO: LBS. KGS.	PRESION MAXIMA LBS. PULG ² KGS. CM ²	PRESION CONSTANTE LBS. PULG ² KGS. CM ²	FLUJO G. P. M. G. P. M.
3/8" 9.5 mm	0.500" 12.700 mm	0.402" 10.210mm	0.049 1.245 mm	0.269 0.400	5.385 2.445	8820 620.04	1764 124.00	6.640 1.754
1/2" 12.7 mm	0.625" 15.875 mm	0.527" 13.385mm	0.049" 1.245 mm	0.344 0.512	6.890 3.128	7056 496.03	1411 99.19	12.507 3.304
3/4" 19 mm	0.875" 22.225 mm	0.745" 18.923mm	0.065" 1.651 mm	0.640 0.954	12.813 5.817	6685 469.95	1337 93.99	32.594 8.611
1" 25 mm	1.125" 28.575 mm	0.995" 25.273mm	0.065" 1.651 mm	0.840 1.250	16.799 7.627	5200 209.00	1040 73.11	75.042 19.826
1 1/4" 32 mm	1.375" 34.925 mm	1.245" 31.623mm	0.065" 1.651 mm	1.041 1.549	20.824 9.454	4260 299.47	852 59.89	132.270 34.940
1 1/2" 38 mm	1.625" 40.640 mm	1.481" 37.617mm	0.072" 1.829 mm	1.361 2.026	27.231 12.363	3988 280.35	797 56.02	212.240 56.074
2" 51 mm	2.125" 53.975 mm	1.959" 49.759mm	0.083" 2.106 mm	2.062 3.070	41.249 18.727	3515 247.10	703 49.42	454.800 120.158

TABLA TIPO "DWV"

DIAMETRO NOMINAL	DIAMETRO EXTERIOR	DIAMETRO INTERIOR	GRUESO PARED	PESO EN LBS. POR PIE KGS. POR M.	PESO POR TRAMO LBS. KGS.
1 1/4" 32 mm	1.375" 34.925 mm	1.295" 32.893 mm	0.040" 1.016 mm	0.651 0.969	13.022 5.912
1 1/2" 38 mm	1.625" 41.275 mm	1.541" 39.141 mm	0.042" 1.067 mm	0.810 1.206	16.213 7.361
2" 51 mm	2.125" 53.975 mm	2.041" 51.841 mm	0.042 1.067 mm	1.066 1.587	21.335 9.686
3" 76 mm	3.125" 79.375 mm	3.035" 77.089 mm	0.045" 1.143 mm	1.690 2.515	33.801 15.346
4" 102 mm	4.125" 104.775 mm	4.009" 101.829 mm	0.058" 1.473 mm	2.876 4.281	57.528 26.118
5" 127 mm	5.125" 130.175 mm	4.981" 126.517 mm	0.072" 1.829 mm	4.436 6.603	88.729 40.283

TABLA TIPO "L" FLEXIBLE

DIAMETRO NOMINAL	DIAMETRO EXTERIOR	DIAMETRO INTERIOR	GRUESO PARED	PESO EN LBS. POR PIE KGS. POR M.	PESO POR ROLLO LIBRAS KILOGRAMOS
1/4" 6.350 mm	0.375" 9.525 mm	0.315" 8.001 mm	0.030" 0.762 mm	0.126 0.188	7.575 3.439
3/8" 9.500 mm	0.500" 12.700 mm	0.439" 10.922 mm	0.035" 0.888 mm	0.198 0.295	11.907 5.406
1/2" 12.700mm	0.625" 15.875 mm	0.545" 13.843 mm	0.040" 1.016 mm	0.285 0.424	17.127 7.776
5/8" 15.785mm	0.750" 19.050 mm	0.666" 16.916 mm	0.042" 1.067 mm	0.363 0.539	21.760 9.879
3/4" 19 mm	0.875" 22.225 mm	0.785" 19.939 mm	0.045" 1.143 mm	0.455 0.678	27.337 12.411
1" 25 mm	1.125" 28.575 mm	1.025" 26.035 mm	0.050" 1.270 mm	0.655 0.976	39.341 17.861

TABLA "USOS GENERALES"

DIAMETRO NOMINAL	DIAMETRO EXTERIOR	DIAMETRO INTERIOR	GRUESO PARED	PESO EN LBS. POR PIE KGS. POR M.	PESO POR ROLLO LIBRAS KILOGRAMOS
1/8" 3.175 mm	0.125" 3.175 mm	0.065" 1.651 mm	0.030" 0.762 mm	0.034 0.051	1.735 0.788
3/16" 4.762 mm	0.187" 4.762 mm	0.127" 3.238 mm	0.030" 0.762 mm	0.057 0.085	2.870 1.303
1/4" 6.350 mm	0.250" 6.350 mm	0.190" 4.826 mm	0.030" 0.762 mm	0.080 0.119	4.022 1.826
5/16" 7.937 mm	0.312" 7.937 mm	0.248" 6.311 mm	0.032" 0.813 mm	0.109 0.162	5.460 2.479
5/8" 15.875 mm	0.625" 15.875 mm	0.555" 14.097 mm	0.035" 0.889 mm	0.251 0.374	12.586 5.714
3/4" 19.000 mm	0.750" 19.000 mm	0.680" 17.222 mm	0.035" 0.889 mm	0.305 0.454	15.240 6.924

riales tradicionales de construcción y de los fluidos a transportar, asegurando así una larga vida útil a la instalación, ésto se debe -- en gran medida a la capa protectora que se -- forma en las paredes de la tubería denominada patina.

- 3) Las propiedades físicas del cobre con que se fabrican las tuberías permiten tener características, como son paredes interiores completamente lisas que dan al fluido a conducir un mínimo de pérdidas de presión, creando un flujo uniforme al no existir disminución de su diámetro interior por adherencias o incrustaciones.

4.5.3) Cálculo de Espesor para Tuberías que reciben Presiones de Colapso.

Para la mínima caída de colapso en el rango plástico con la mínima limitación de esfuerzo a la -- tensión, la presión externa que puede soportar un tubo de cierto material que tiene un mínimo esfuerzo a la tensión del mismo, es la presión de colapso, dicha presión se calcula a través de valores determinados. La fórmula que genera estos valores es:

$$P_c = \frac{2 S_t [(D/t) - 1]}{(D/t)^2} \quad (1)$$

Si se desea encontrar el espesor del tubo de cierto material, resolvemos la ecuación (1).

$$P_c [(D/t)^2] = 2 S_t (D/t) - 2 S_t \quad (2)$$

$$P_c [(D/t)^2] - 2 S_t (D/t) + 2 S_t = 0 \quad (3)$$

Haciendo un cambio de variable de la siguiente forma:

$$X = D/t \quad \text{Donde } X^2 = (D/t)^2 \quad (4)$$

Y la EC. 3 nos queda de la siguiente forma, haciendo el cambio de variable.

$$Pc [X^2] - 2St (X) + 2St = 0$$

Resolviendo la ecuación cuadrática se tiene:

$$X_1 = \frac{2St + \sqrt{4(St)^2 - 8PcSt}}{2Pc} \quad (6)$$

$$X_2 = \frac{2St - \sqrt{4(St)^2 - 8PcSt}}{2Pc} \quad (7)$$

En donde:

- Pc = Presión de colapso
- St = Esfuerzo de tensión
- D = Diámetro externo
- t = Espesor de la pared del tubo

De las soluciones anteriores sólo una es la adecuada, que es la que concuerde con los datos que tenemos. Los criterios tomados, pueden darnos como resultado soluciones de espesores negativos, o que - dos veces el espesor sea mayor que el diámetro externo.

Ejemplo:

Se tiene el problema de diseñar el espesor de un tubo del siguiente material Ti-3Al-2.SV, el cual tiene un diámetro de: (D = 1 11/16"), el cual está sometido a una presión externa máxima de -- P = 20000 PSiA. Determinar el espesor requerido para que este tubo soporte esta presión.

Datos:

$$D = 1 \frac{11}{16}'' = 1.6875 \text{ Pulg.}$$

$$P_c = 20000 \text{ Lbf/ Pulg.}$$

Donde tenemos la presión de colapso como la presión máxima a la que operará este tubo. De los datos del fabricante el esfuerzo a la tensión es:

$$S_t = 75000 \text{ Lbf/Pulg.}^2 :$$

Y procedemos a calcular los valores de las X's dadas de las EC. 6 y 7.

$$X_1 = \frac{2 (75000) + \sqrt{4 (75000)^2 - 8 (20000) (75000)}}{2 (20000)}$$

$$X_1 = \frac{150000 + \sqrt{.224 \times 10^{10} - .12 \times 10^{10}}}{40000}$$

$$X_1 = 6.3117377$$

$$X_2 = \frac{2(75000) - \sqrt{4(75000)^2 - 8(20000)(75000)}}{2(20000)}$$

$$X_2 = \frac{150000 - \sqrt{(2.24)^{10} - (1.2)^{10}}}{40000}$$

$$X_2 = 1.882623$$

Y haciendo el cambio de variable utilizando en la EC. 4

Tenemos:

$$x = D/t \quad \text{y despejando } t, \quad t = D/x$$

Con lo cual encontramos los espesores requeridos así:

$$t_1 = \frac{D}{X_1} = \frac{1.6875}{6.3117377} = 0.267359 \text{ Pulg.} = 0.6790919 \text{ cm.}$$

$$t_2 = \frac{D}{X_2} = \frac{1.6875}{1.882623} = 1.420141 \text{ Pulg.} = 3.607158 \text{ cm.}$$

De aquí observamos que la solución factible es la de t_1 puesto que al usar el criterio antes mencionado, notamos lo siguiente:

$$2 t_2 = 2 (1.420141) = 2.840282 \text{ Pulg.}$$

2.840282 Pulg. es mayor que 1.6875 Pulg.

Lo cual nos dice que 2 veces el espesor es mucho mayor que el diámetro externo, el cual no puede ser y entonces tenemos que:

El espesor adecuado es el encontrado en el primer cálculo, el cual es:

$$T_1 = 0.267359 \text{ Pulg.} = 0.6790919 \text{ cm.}$$

ESPOSOR DE PARED NOMINAL

Nominal Size	Nominal Diameter	Sched 10	Sched 20	Sched 30	STD 40 WALL	Sched 40	Sched 50	STD 60	Sched 60	Sched 70	Sched 80	Sched 90	Sched 100	Sched 110	Sched 120	Sched 140	Sched 160	SE STD	Nominal Size	
1	0.840	0.083	—	—	0.109	0.109	—	0.147	0.147	—	—	—	—	—	—	—	—	0.188	0.254	1
1	1.050	0.083	—	—	0.113	0.113	—	0.154	0.154	—	—	—	—	—	—	—	—	0.219	0.304	1
1	1.315	0.104	—	—	0.133	0.133	—	0.179	0.179	—	—	—	—	—	—	—	—	0.250	0.358	1
1	1.660	0.109	—	—	0.140	0.140	—	0.191	0.191	—	—	—	—	—	—	—	—	0.250	0.382	1
1	1.960	0.109	—	—	0.145	0.145	—	0.200	0.200	—	—	—	—	—	—	—	—	0.281	0.409	1
2	2.375	0.109	—	—	0.154	0.154	—	0.218	0.218	—	—	—	—	—	—	—	—	0.344	0.436	2
2	2.875	0.120	—	—	0.203	0.203	—	0.276	0.276	—	—	—	—	—	—	—	—	0.375	0.552	2
3	3.500	0.120	—	—	0.216	0.216	—	0.300	0.300	—	—	—	—	—	—	—	—	0.438	0.640	3
3	4.000	0.120	—	—	0.226	0.226	—	0.318	0.318	—	—	—	—	—	—	—	—	0.438	0.636	3
4	4.500	0.120	—	—	0.237	0.237	—	0.337	0.337	—	—	—	0.438	—	—	—	—	0.531	0.674	4
5	5.563	0.134	—	—	0.258	0.258	—	0.375	0.375	—	—	—	0.500	—	—	—	—	0.625	0.750	5
6	6.625	0.134	—	—	0.280	0.280	—	0.432	0.432	—	—	—	0.562	—	—	—	—	0.719	0.864	6
8	8.625	0.148	0.250	0.277	0.322	0.322	0.406	0.500	0.500	0.594	0.719	0.812	0.906	0.875	8	—	—	0.906	0.875	8
10	10.750	0.165	0.250	0.307	0.365	0.365	0.500	0.500	0.594	0.719	0.844	1.000	1.125	1.000	10	—	—	1.125	1.000	10
12	12.750	0.160	0.250	0.330	0.375	0.406	0.562	0.500	0.688	0.844	1.000	1.125	1.312	1.000	12	—	—	1.312	1.000	12
14	14.000	0.250	0.312	0.375	0.375	0.438	0.594	0.500	0.750	0.938	1.094	1.250	1.406	—	14	—	—	1.406	—	14
16	16.000	0.250	0.312	0.375	0.375	0.500	0.656	0.500	0.844	1.031	1.219	1.438	1.594	—	16	—	—	1.594	—	16
18	18.000	0.250	0.312	0.438	0.375	0.562	0.750	0.500	0.938	1.186	1.375	1.562	1.781	—	18	—	—	1.781	—	18
20	20.000	0.250	0.375	0.500	0.375	0.594	0.812	0.500	1.031	1.281	1.500	1.750	1.969	—	20	—	—	1.969	—	20
22	22.000	0.250	—	—	0.375	—	—	0.500	—	—	—	—	—	—	22	—	—	—	—	22
24	24.000	0.250	0.375	0.562	0.375	0.688	0.969	0.500	1.219	1.531	1.812	2.062	2.344	—	24	—	—	2.344	—	24
26	26.000	—	—	—	0.375	—	—	0.500	—	—	—	—	—	—	26	—	—	—	—	26
30	30.000	0.312	0.500	0.625	0.375	—	—	0.500	—	—	—	—	—	—	30	—	—	—	—	30
36	36.000	0.312	0.500	0.625	0.375	0.750	—	0.500	—	—	—	—	—	—	36	—	—	—	—	36
40	40.000	—	—	—	0.375	—	—	0.500	—	—	—	—	—	—	40	—	—	—	—	40
42	42.000	—	—	—	0.375	—	—	0.500	—	—	—	—	—	—	42	—	—	—	—	42
48	48.000	—	—	—	0.375	—	—	0.500	—	—	—	—	—	—	48	—	—	—	—	48

DIAMETRO INTERIOR NOMINAL

1	0.840	0.674	—	—	0.622	0.622	—	0.546	0.546	—	—	—	—	—	—	—	—	0.464	0.252	1
1	1.050	0.684	—	—	0.674	0.674	—	0.742	0.742	—	—	—	—	—	—	—	—	0.612	0.434	1
1	1.315	0.697	—	—	1.049	1.049	—	0.957	0.957	—	—	—	—	—	—	—	—	0.815	0.599	1
1	1.660	1.442	—	—	1.380	1.380	—	1.278	1.278	—	—	—	—	—	—	—	—	1.160	0.896	1
1	1.900	1.682	—	—	1.610	1.610	—	1.500	1.500	—	—	—	—	—	—	—	—	1.338	1.109	1
2	2.375	2.157	—	—	2.067	2.067	—	1.939	1.939	—	—	—	—	—	—	—	—	1.687	1.503	2
2	2.875	2.635	—	—	2.469	2.469	—	2.323	2.323	—	—	—	—	—	—	—	—	2.125	1.771	2
3	3.500	3.260	—	—	3.068	3.068	—	2.900	2.900	—	—	—	—	—	—	—	—	2.624	2.300	3
3	4.000	3.760	—	—	3.548	3.548	—	3.364	3.364	—	—	—	—	—	—	—	—	2.728	—	3
4	4.500	4.260	—	—	4.026	4.026	—	3.826	3.826	—	—	—	—	—	—	—	—	3.438	3.152	4
5	5.563	5.295	—	—	5.047	5.047	—	4.813	4.813	—	—	—	—	—	—	—	—	4.213	4.063	5
6	6.625	6.357	—	—	6.065	6.065	—	5.761	5.761	—	—	—	—	—	—	—	—	5.187	4.897	6
8	8.625	8.329	8.125	8.071	7.981	7.981	7.813	7.625	7.625	7.437	7.187	7.001	6.813	6.875	8	—	—	6.813	6.875	8
10	10.750	10.420	10.250	10.136	10.020	10.020	9.750	9.500	9.562	9.312	9.062	8.750	8.500	8.750	10	—	—	8.500	8.750	10
12	12.750	12.290	12.250	12.090	12.000	11.938	11.626	11.750	11.374	11.062	10.750	10.500	10.126	10.750	12	—	—	10.126	10.750	12
14	14.000	13.500	13.376	13.250	13.250	13.124	12.812	13.000	12.500	12.124	11.812	11.500	11.188	—	14	—	—	11.188	—	14
16	16.000	15.500	15.376	15.250	15.250	15.000	14.688	15.000	14.312	13.930	13.562	13.124	12.812	—	16	—	—	12.812	—	16
18	18.000	17.500	17.376	17.124	17.250	18.876	18.564	16.500	17.250	16.124	15.688	15.250	14.876	14.438	—	18	—	14.438	—	18
20	20.000	19.500	19.250	19.000	19.250	18.812	18.376	19.000	17.938	17.430	17.000	16.500	16.062	—	20	—	—	16.062	—	20
22	22.000	21.500	—	—	21.250	—	—	21.500	—	—	—	—	—	—	22	—	—	—	—	22
24	24.000	23.500	23.250	22.876	23.250	22.624	22.062	23.000	21.562	20.938	20.376	19.876	19.312	—	24	—	—	19.312	—	24
26	26.000	—	—	—	26.250	—	—	26.000	—	—	—	—	—	—	26	—	—	—	—	26
30	30.000	29.376	29.000	28.750	29.250	—	—	29.000	—	—	—	—	—	—	30	—	—	—	—	30
36	36.000	35.376	35.000	34.750	35.250	34.500	—	35.000	—	—	—	—	—	—	36	—	—	—	—	36
40	40.000	—	—	—	39.250	—	—	39.000	—	—	—	—	—	—	40	—	—	—	—	40
42	42.000	—	—	—	41.250	—	—	41.000	—	—	—	—	—	—	42	—	—	—	—	42
48	48.000	—	—	—	47.250	—	—	47.000	—	—	—	—	—	—	48	—	—	—	—	48

DATOS TECNICOS

TABLAS DE PROPIEDADES DE TUBERIA

DIAMETRO NOMINAL	DIAMETRO EXTERIOR D	DIAGNACION	ESPE-SOR DE PARED	DIAMETRO INTERIOR d	PESO POR PIE	PESO DE AGUA - EN PIES? DE TURO	SUPERFICIE EXTERIOR EN PIES? POR PIE	SUPERFICIE INTERNA EN PIES? POR PIE	AREA DE TRANSVERSAL A	AREA DE METAL A	MOMENTO DE INERCIA I	MOULO DE SECCION Z	RADIO DE GIRO R
1/8	.405	105	.049	.307	.186	.037	.106	.0804	.0740	.0548	.00090	.00440	.1270
		510	.068	.269	.244	.0246	.105	.0705	.0568	.720	.00106	.00530	.1215
		516	.095	.215	.314	.0157	.105	.0563	.0364	.0795	.00122	.00600	.1146
1/4	.540	105	.065	.419	.336	.0570	.141	.1073	.1370	.0970	.00280	.01040	.1695
		510	.088	.364	.424	.0451	.141	.0955	.1041	.1750	.00331	.01230	.1628
		516	.119	.302	.535	.0310	.141	.0796	.0716	.1574	.00378	.01395	.1547
3/8	.675	105	.065	.565	.471	.1010	.172	.1427	.2131	.1745	.00590	.01740	.2160
		510	.091	.493	.567	.0827	.172	.1295	.1910	.1670	.00730	.02160	.2090
		516	.126	.423	.738	.0609	.172	.1105	.1405	.2173	.00862	.02554	.1991
1/2	.840	105	.083	.670	.671	.1550	.220	.1764	.3568	.1774	.01430	.03410	.2692
		510	.109	.627	.850	.1315	.220	.1637	.3040	.2503	.01710	.04070	.2613
		516	.147	.546	1.087	.1013	.220	.1433	.2340	.3200	.02010	.04780	.2505
3/4	1.050	105	.138	.464	1.110	.0740	.220	.1270	.1706	.3036	.02213	.05269	.2402
		510	.294	.252	1.714	.0216	.220	.0860	.0499	.5043	.02424	.05777	.2192
		516	.083	.884	.857	.2660	.275	.2314	.6138	.2522	.02970	.05660	.3430
1	1.315	105	.113	.874	1.130	.2101	.275	.2168	.5330	.3326	.03704	.07055	.3337
		510	.154	.742	1.473	.1875	.275	.1948	.4330	.4335	.04479	.08531	.3214
		516	.219	.617	1.940	.1280	.275	.1607	.2561	.5698	.05270	.10038	.3041
1 1/8	1.625	105	.108	.434	2.440	.0633	.275	.1137	.1479	.7180	.04792	.11030	.2840
		510	.109	1.097	1.404	.4090	.344	.2872	.9448	.4129	.07560	.1150	.4282
		516	.133	1.049	1.678	.3740	.344	.2740	.8640	.4939	.08794	.1328	.4205
1 1/2	1.900	510	.179	.951	2.171	.3112	.344	.2520	.2190	.6288	.10560	.1606	.4066
		516	.255	.815	2.850	.2261	.344	.2134	.5217	.4364	.12516	.1903	.3868
		516	.358	.599	3.659	.1221	.344	.1570	.2919	1.0760	.14050	.2136	.3613
1 3/4	2.200	105	.109	1.442	1.806	.7080	.434	.3775	1.633	.5314	.1696	.1934	.5499
		510	.140	1.380	2.272	.6471	.434	.3670	1.495	.6685	.1947	.2346	.5397
		516	.191	1.278	2.996	.5553	.434	.3356	1.283	.8815	.2418	.2913	.5237
2	2.500	510	.250	1.160	3.764	.4575	.434	.3029	1.057	1.1070	.2833	.3421	.5063
		516	.387	.896	5.714	.2732	.434	.2331	.6305	1.5340	.3411	.4110	.4716

1.	1 900	10S	109	1 682	2 085	9630	497	4403	2 221	613	2469	2599	6344
		Std	145	1 610	2 717	8820	497	4213	2 036	800	3099	3262	6226
		X-Stg	200	1 500	3 631	7648	497	3927	1 767	1 068	3912	4118	6052
		160	281	1 337	4 862	6082	497	3519	1 405	1 430	4826	5089	5809
		XX-Stg	400	1 100	6 408	4117	497	2903	950	1 885	5678	5977	5489
2	2 375	10S	109	2 157	2 638	1 583	622	5647	3 654	775	5003	4213	8034
		Std	154	2 067	3 652	1 452	622	5401	3 355	1 075	6657	5605	7871
		X-Stg	218	1 939	5 022	1 279	622	5074	2 953	1 477	8679	7309	7665
		--	250	1 875	5 673	1 196	622	4920	2 761	1 669	9555	8046	7565
		160	344	1 687	7 450	970	622	4422	2 240	2 190	1 162	9790	7286
		XX-Stg	436	1 503	9 029	769	622	3929	1 774	2 655	1 211	1 1040	7027
2.	2 875	10S	120	2 635	3 353	2 360	753	6900	5 453	1 038	9878	6872	9755
		Std	203	2 469	5 79	2 072	753	6462	4 788	1 704	1 520	1 064	9474
		X-Stg	276	2 323	7 66	1 834	753	6095	4 238	2 254	1 924	1 339	9241
		160	375	2 125	10 01	1 535	753	5564	3 547	2 045	2 353	1 638	8938
		XX-Stg	552	1 711	13 69	1 067	753	4627	2 464	4 028	2 671	1 997	8442
3	3 500	10S	120	3 260	4 33	3 62	916	853	8 346	1 272	1 821	1 041	1 196
		API	125	3 250	4 52	3 60	916	851	8 300	1 329	1 900	1 086	1 195
		API	156	3 188	5 58	3 46	916	835	7 982	1 639	2 298	1 313	1 184
		API	188	3 125	6 65	3 34	916	819	7 700	1 958	2 700	1 545	1 175
		Std	216	3 068	7 57	3 20	916	802	7 393	2 228	3 017	1 724	1 164
		API	250	3 000	8 68	3 06	916	785	7 184	2 553	3 388	1 936	1 152
		API	281	2 938	9 65	2 94	916	769	6 780	2 842	3 819	2 182	1 142
		X-Stg	300	2 900	10 25	2 86	916	761	6 605	3 016	3 892	2 225	1 136
		160	438	2 624	14 32	2 34	916	687	5 407	4 214	5 044	2 882	1 094
		XX-Stg	600	2 300	18 58	1 80	916	601	4 155	5 466	5 993	3 424	1 047
3.	4 000	10S	120	3 760	4 97	4 81	1 047	984	11 10	1 46	2 754	1 377	1 372
		API	125	3 750	5 18	4 79	1 047	982	11 04	1 52	2 859	1 430	1 371
		API	156	3 688	6 41	4 63	1 047	966	10 68	1 88	3 485	1 743	1 360
		API	188	3 624	7 71	4 48	1 047	950	10 32	2 27	4 130	2 065	1 350
		Std	226	3 548	9 11	4 28	1 047	929	9 89	2 68	4 788	2 194	1 337
		API	250	3 500	10 02	4 17	1 047	916	9 62	2 94	5 201	2 601	1 329
		API	281	3 438	11 17	4 02	1 047	900	9 28	3 29	5 715	2 858	1 319
		X-Stg	318	3 364	12 51	3 85	1 047	880	8 89	3 68	6 280	3 140	1 307
		XX-Stg	636	2 728	22 05	2 53	1 047	716	5 84	6 72	9 848	4 924	1 210
4	4 500	10S	120	4 260	5 61	6 18	1 178	1 115	14 25	1 65	3 97	1 761	1 550
		API	125	4 250	5 84	6 15	1 178	1 113	14 19	1 72	4 12	1 829	1 548
		API	156	4 188	7 24	5 97	1 178	1 096	13 77	2 13	5 03	2 235	1 537
		API	188	4 124	8 56	5 80	1 178	1 082	13 39	2 52	5 86	2 600	1 525
		API	219	4 062	10 02	5 62	1 178	1 063	12 96	2 94	6 77	3 867	1 516
		Std	237	4 026	10 79	5 51	1 178	1 055	12 73	3 17	7 27	4 214	1 510
		API	250	4 000	11 35	5 45	1 178	1 049	12 57	3 34	7 56	3 360	1 505
		API	281	3 938	12 67	5 27	1 178	1 031	12 17	3 73	8 33	3 703	1 495
		API	312	3 876	14 00	5 12	1 178	1 013	11 80	4 11	9 05	4 020	1 482
		X-Stg	337	3 826	14 98	4 98	1 178	1 002	11 50	4 41	9 61	4 271	1 477
		120	438	3 624	19 00	4 47	1 178	949	10 32	5 59	11 65	5 177	1 444
		--	500	3 500	21 36	4 16	1 178	916	9 62	6 28	12 77	5 676	1 425
		160	531	3 438	22 60	4 02	1 178	900	9 28	6 62	13 27	5 900	1 416
		XX-Stg	674	3 152	27 54	3 38	1 178	826	7 80	8 10	15 28	6 793	1 374

	10S	134	5 295	7 77	9 54	1 456	1 386	22 02	2 29	8 42	3 028	1 920	
	API	156	5 251	9 02	9 39	1 456	1 375	21 66	2 65	9 70	3 487	1 913	
	API	188	5 187	10 80	9 16	1 456	1 358	21 13	3 17	11 49	4 129	1 902	
	API	219	5 125	12 51	8 94	1 456	1 342	20 63	3 68	13 14	4 726	1 891	
	Std	258	5 047	14 62	8 66	1 456	1 321	20 01	4 30	15 16	5 451	1 878	
	API	281	5 001	15 86	8 52	1 456	1 309	19 64	4 66	16 31	5 862	1 870	
5	5 563	API	312	4 939	17 51	8 31	1 456	1 293	19 16	5 15	17 81	6 402	1 860
	API	344	4 875	19 19	8 09	1 456	1 276	18 67	5 64	19 28	6 932	1 849	
	X-Stg	375	4 813	20 78	7 87	1 456	1 260	18 19	6 11	20 67	7 431	1 839	
	120	500	4 563	27 10	7 08	1 456	1 195	16 35	7 95	25 74	9 253	1 799	
	160	625	4 313	32 96	6 32	1 456	1 129	14 61	9 70	30 03	10 800	1 760	
	XX-Stg	750	4 063	38 55	5 62	1 456	1 064	12 97	11 34	33 63	12 090	1 722	
	12 Ga	104	6 417	7 25	14 02	1 734	1 680	32 34	2 13	11 33	3 42	2 31	
	10S	134	6 357	9 29	13 70	1 734	1 660	31 75	2 73	14 38	4 34	2 29	
	8 Ga	164	6 297	11 33	13 50	1 734	1 649	31 14	3 33	17 38	5 25	2 28	
	API	188	6 249	12 93	13 31	1 734	1 639	30 70	3 80	19 71	5 95	2 28	
	6 Ga	194	6 237	13 34	13 25	1 734	1 633	30 55	3 92	20 29	6 12	2 27	
	API	219	6 187	15 02	13 05	1 734	1 620	30 10	4 41	22 66	6 84	2 27	
	API	250	6 125	17 02	12 80	1 734	1 606	29 50	5 01	25 55	7 71	2 26	
	API	277	6 071	18 86	12 55	1 734	1 591	28 95	5 54	28 00	8 46	2 25	
	Std	280	6 065	18 97	12 51	1 734	1 587	28 90	5 58	28 14	8 50	2 24	
6	6 625	API	312	6 001*	21 05	12 26	1 734	1 571	28 28	6 19	30 91	9 33	2 23
	API	344	5 937	23 09	12 00	1 734	1 554	27 68	6 79	33 51	10 14	2 22	
	API	375	5 875	25 10	11 75	1 734	1 540	27 10	7 37	36 20	10 90	2 21	
	X-Stg	432	5 761	28 57	11 29	1 734	1 510	26 07	8 40	40 49	12 22	2 19	
	--	500	5 625	32 79	10 85	1 734	1 475	24 85	9 63	45 60	13 78	2 16	
	120	562	5 501	36 40	10 30	1 734	1 470	23 77	10 74	49 91	15 07	2 15	
	160	719	5 187	45 30	9 16	1 734	1 359	21 15	13 36	58 99	17 01	2 10	
	XX-Stg	864	4 897	53 16	8 14	1 734	1 280	18 83	15 64	66 33	20 02	2 06	
	12 Ga	104	8 417	9 47	24 1	2 26	2 204	55 6	2 78	25 3	5 86	3 01	
	10 Ga	134	8 357	12 16	23 8	2 26	2 188	54 8	3 57	32 2	7 46	3 00	
	10S	148	8 329	13 40	23 6	2 26	2 180	54 5	3 94	35 4	8 22	3 00	
	8 Ga	164	8 297	14 83	23 4	2 26	2 172	54 1	4 36	39 1	9 06	2 99	
	API	188	8 249	16 90	23 2	2 26	2 161	53 5	5 00	44 5	10 30	2 98	
	6 Ga	194	8 237	17 44	23 1	2 26	2 156	53 3	5 14	45 7	10 60	2 98	
	API	203	8 219	18 30	23 1	2 26	2 152	53 1	5 38	47 7	11 05	2 98	
	API	219	8 187	19 64	22 9	2 26	2 148	52 7	5 80	51 3	11 90	2 97	
	16 Ga	239	8 147	21 42	22 6	2 26	2 133	52 1	6 30	55 4	12 84	2 96	
	20	250	8 125	22 40	22 5	2 26	2 127	51 8	6 58	57 7	13 39	2 96	
	30	277	8 071	24 70	22 2	2 26	2 115	51 2	7 26	63 3	14 69	2 95	
	API	312	8 001	27 72	21 8	2 26	2 095	50 3	8 15	70 6	16 37	2 94	
	Std	322	7 981	28 56	21 6	2 26	2 090	50 0	8 40	72 5	16 81	2 94	
	API	344	7 937	30 40	21 4	2 26	2 078	49 5	8 94	76 8	17 81	2 93	
	API	375	7 875	33 10	21 1	2 26	2 067	48 7	9 74	83 1	19 27	2 92	
	60	400	7 813	35 70	20 8	2 26	2 045	47 9	10 46	88 8	20 58	2 91	
	API	438	7 749	38 33	20 4	2 26	2 029	47 2	11 27	94 7	21 97	2 90	
	X-Stg	500	7 625	43 39	19 8	2 26	2 006	45 6	12 76	105 7	24 51	2 88	
	100	594	7 437	50 90	18 8	2 26	1 947	43 5	14 96	121 4	28 14	2 85	
	--	625	7 375	53 40	18 5	2 26	1 931	42 7	15 71	126 5	29 33	2 84	
	120	719	7 187	60 70	17 6	2 26	1 882	40 6	17 84	140 6	32 61	2 81	
	140	812	7 001	67 80	16 7	2 26	1 833	38 5	19 93	153 8	35 65	2 78	
	XX-Stg	875	6 875	72 42	16 1	2 26	1 800	37 1	21 30	162 0	37 56	2 76	
	160	906	6 813	74 70	15 8	2 26	1 784	36 4	21 97	165 9	38 48	2 76	

12 Ga	104	10 542	11 83	37 8	2 81	2 76	87 3	3 48	49 3	9 16	3 76
10 Ga	134	10 482	15 71	37 4	2 81	2 74	86 3	4 47	63 0	11 71	3 75
8 Ga	164	10 422	18 56	37 0	2 81	2 73	85 3	5 45	76 4	14 22	3 74
10S	165	10 420	18 65	36 9	2 81	2 73	85 3	5 50	76 8	14 29	3 74
API	188	10 374	21 12	36 7	2 81	2 72	84 5	6 20	86 5	16 10	3 74
6 Ga	194	10 362	21 89	36 6	2 81	2 71	84 3	6 43	89 7	16 68	3 73
API	203	10 344	22 86	36 5	2 81	2 71	84 0	6 71	93 3	17 35	3 73
API	219	10 310	24 60	36 2	2 81	2 70	83 4	7 24	100 5	18 70	3 72
3 Ga	239	10 272	28 05	35 9	2 81	2 69	82 9	7 89	109 2	20 32	3 72
20	250	10 250	28 03	35 9	2 81	2 68	82 6	8 26	113 6	21 12	3 71
API	279	10 192	31 20	35 3	2 81	2 66	81 6	9 18	125 9	23 42	3 70
30	307	10 136	34 24	35 0	2 81	2 65	80 7	10 07	137 4	25 57	3 69
API	344	10 062	38 26	34 5	2 81	2 63	79 5	11 25	152 3	28 33	3 68
Std	365	10 020	40 48	34 1	2 81	2 62	78 9	11 91	160 7	29 90	3 67
API	438	9 874	48 28	33 2	2 81	2 58	76 6	14 19	188 8	35 13	3 65
X-Stig	500	9 750	54 74	32 3	2 81	2 55	74 7	16 10	212 0	39 43	3 63
80	594	9 562	64 40	31 1	2 81	2 50	71 8	18 91	244 9	45 56	3 60
160	719	9 312	77 00	29 5	2 81	2 44	68 1	22 62	286 2	53 25	3 56
--	750	9 250	80 10	29 1	2 81	2 42	67 2	23 56	296 2	55 10	3 54
120	844	9 062	89 20	27 9	2 81	2 37	64 5	26 23	324 3	60 34	3 51
140	1 000	8 760	104 20	26 1	2 81	2 29	60 1	30 63	367 8	68 43	3 46
160	1 125	8 500	116 00	24 6	2 81	2 22	56 7	34 01	399 4	74 31	3 43
12 Ga	104	12 542	14 1	53 6	3 34	3 28	123 5	4 13	82 6	12 9	4 47
10 Ga	134	12 482	18 1	53 0	3 34	3 27	122 4	5 31	105 7	16 6	4 46
8 Ga	164	12 422	22 1	52 5	3 34	3 25	121 2	6 48	128 4	20 1	4 45
10S	180	12 390	24 2	52 2	3 34	3 24	120 6	7 11	140 4	22 0	4 44
6 Ga	194	12 362	26 0	52 0	3 34	3 23	120 0	7 65	150 9	23 7	4 44
API	203	12 344	27 2	52 0	3 34	3 23	119 9	7 99	157 2	24 7	4 43
API	219	12 312	29 3	51 7	3 34	3 22	119 1	8 52	167 6	26 3	4 43
3 Ga	239	12 272	32 0	51 3	3 34	3 21	118 3	9 39	183 8	28 3	4 42
20	250	12 250	33 4	51 3	3 34	3 12	118 0	9 84	192 3	30 2	4 42
API	281	12 188	37 4	50 6	3 34	3 19	116 7	11 01	214 1	33 6	4 41
API	312	12 126	41 5	50 1	3 34	3 17	115 5	12 19	236 0	37 0	4 40
30	330	12 090	43 8	49 7	3 34	3 16	114 8	12 88	248 5	39 0	4 39
API	344	12 062	45 5	49 7	3 34	3 16	114 5	13 46	259 0	40 7	4 38
Std	375	12 000	49 6	48 9	3 34	3 14	113 1	14 58	279 3	43 8	4 37
40	406	11 938	53 6	48 5	3 34	3 13	111 9	15 74	300 3	47 1	4 37
API	438	11 874	57 5	48 2	3 34	3 11	111 0	16 95	321 0	50 4	4 35
X-Stig	500	11 750	65 4	46 9	3 34	3 08	108 4	19 24	361 5	56 7	4 33
60	562	11 626	73 2	46 0	3 34	3 04	106 2	21 52	400 5	62 8	4 31
--	625	11 500	80 9	44 9	3 34	3 01	103 8	23 81	438 7	68 8	4 29
80	688	11 374	88 6	44 0	3 34	2 98	101 6	26 03	475 2	74 6	4 27
--	750	11 250	96 2	43 1	3 34	2 94	99 4	28 27	510 7	80 1	4 25
100	844	11 062	108 0	41 6	3 34	2 90	96 1	31 53	561 8	88 1	4 22
--	875	11 000	110 9	41 1	3 34	2 88	95 0	32 64	578 5	90 7	4 21
120	1 000	10 750	125 5	39 3	3 34	2 81	90 8	36 91	641 7	100 7	4 17
140	1 125	10 500	140 0	37 5	3 34	2 75	86 6	41 08	700 7	109 9	4 13
--	1 250	10 250	151 6	35 8	3 34	2 68	82 5	45 16	755 5	118 5	4 09
160	1 312	10 126	161 0	34 9	3 34	2 65	80 5	47 14	781 3	122 6	4 07
--	1 375	10 000	167 2	34 0	3 34	2 62	78 5	49 14	807 2	126 6	4 05
--	1 500	9 750	180 4	32 4	3 34	2 55	74 7	53 01	853 8	133 9	4 01

10 Ga	134	13 732	20	64.2	3.67	3.59	148.1	5.84	140.4	20.1	4.90
8 Ga	164	13 672	24	63.6	3.67	3.58	146.8	7.13	170.7	24.4	4.89
6 Ga	194	13 612	29	63.1	3.67	3.56	145.5	8.41	200.6	28.7	4.88
API	210	13 580	31	62.8	3.67	3.55	144.8	9.10	216.2	30.9	4.87
API	219	13 562	32	62.6	3.67	3.55	144.5	9.48	226.1	32.2	4.87
3 Ga	239	13 522	35	62.3	3.67	3.54	143.6	10.33	244.9	35.0	4.87
10	250	13 500	37	62.1	3.67	3.54	143.0	10.82	256.0	36.6	4.86
API	281	13 438	41	61.5	3.67	3.52	141.8	12.11	285.2	40.7	4.85
20	312	13 375	46	60.8	3.67	3.50	140.5	13.44	314.9	45.0	4.84
API	344	13 312	50	60.3	3.67	3.48	139.2	14.76	344.3	49.2	4.83
Std	375	13 250	55	59.7	3.67	3.47	137.9	16.05	372.8	53.2	4.82
40	438	13 124	61	58.5	3.67	3.44	135.3	18.66	429.6	61.4	4.80
X-Std	500	13 000	72	57.4	3.67	3.40	132.7	21.21	483.8	69.1	4.78
60	594	12 812	85	55.9	3.67	3.35	129.0	24.98	562.4	80.3	4.74
80	675	12 750	89	55.3	3.67	3.34	127.7	26.26	588.5	84.1	4.73
100	750	12 500	107	51.2	3.67	3.27	122.7	31.22	687.5	98.2	4.69
120	875	12 250	123	51.1	3.67	3.21	117.9	36.08	780.1	111.4	4.65
140	938	12 124	131	50.0	3.67	3.17	115.5	38.47	820.5	117.2	4.63
160	1 000	12 000	139	49.0	3.67	3.14	113.1	40.84	868.0	124.0	4.61
180	1 094	11 812	151	47.5	3.67	3.09	109.6	44.32	929.8	132.8	4.58
200	1 125	11 750	155	47.0	3.67	3.08	108.4	45.50	950.3	135.8	4.57
220	1 250	11 500	171	45.0	3.67	3.01	103.9	50.07	1027.5	146.8	4.53
240	1 375	11 250	186	43.1	3.67	2.94	99.4	54.54	1099.5	157.1	4.49
260	1 406	11 188	190	42.6	3.67	2.93	98.3	55.63	1116.9	159.6	4.48
280	1 500	11 000	200	41.2	3.67	2.88	95.0	58.90	1166.5	166.6	4.45
10 Ga	134	15 732	23	84.3	4.19	4.12	194.4	6.68	210	26.3	5.61
8 Ga	164	15 672	28	83.6	4.19	4.10	192.9	8.16	256	32.0	5.60
6 Ga	188	15 624	32	83.3	4.19	4.09	192.0	9.39	294	36.7	5.59
4 Ga	194	15 612	33	83.0	4.19	4.09	191.4	9.63	301	37.6	5.59
API	219	15 562	37	82.5	4.19	4.07	190.2	10.86	338	42.3	5.58
3 Ga	239	15 522	40	82.0	4.19	4.06	189.2	11.83	368	45.9	5.57
10	250	15 500	42	82.1	4.19	4.06	189.0	12.40	385	48.1	5.57
API	281	15 438	47	81.2	4.19	4.04	187.0	13.90	430	53.8	5.56
20	312	15 375	52	80.1	4.19	4.03	185.6	15.40	474	59.2	5.55
API	344	15 312	57	80.0	4.19	4.01	184.1	16.94	519	64.9	5.54
Std	375	15 250	63	79.1	4.19	4.00	182.6	18.41	562	70.3	5.53
API	438	15 124	71	78.2	4.19	3.96	180.3	21.42	650	81.2	5.51
X-Std	500	15 000	83	76.5	4.19	3.93	176.7	24.35	732	91.5	5.48
60	625	14 750	103	74.1	4.19	3.86	170.9	30.19	893	111.7	5.44
80	656	14 688	108	73.4	4.19	3.85	169.4	31.62	933	116.6	5.43
100	750	14 500	122	71.5	4.19	3.80	165.1	35.93	1047	130.9	5.40
120	844	14 312	137	69.7	4.19	3.75	160.9	40.14	1157	144.6	5.37
140	875	14 250	141	69.1	4.19	3.73	159.5	41.58	1192	149.0	5.35
160	1 000	14 000	160	66.7	4.19	3.66	153.9	47.12	1331	166.4	5.31
180	1 031	13 938	165	66.0	4.19	3.65	152.6	48.49	1366	170.7	5.30
200	1 125	13 750	179	64.4	4.19	3.60	148.5	52.57	1463	182.9	5.27
220	1 210	13 562	193	62.6	4.19	3.55	144.5	56.56	1556	194.5	5.24
240	1 250	13 500	197	62.1	4.19	3.53	143.1	57.92	1586	198.3	5.23
260	1 375	13 250	215	59.8	4.19	3.47	137.9	63.17	1704	213.0	5.19
280	1 438	13 124	224	58.6	4.19	3.44	135.3	65.79	1781	220.1	5.17
300	1 500	13 000	232	57.4	4.19	3.40	132.7	68.33	1816	227.0	5.15
320	1 594	12 812	245	55.9	4.19	3.35	129.0	72.10	1893	236.6	5.12

	10 Ga	134	17 732	26	107 1	4 71	4 64	246 9	7 52	300	33 4	6 32
	8 Ga	164	17 672	31	106 3	4 71	4 63	245 3	9 19	366	40 6	6 31
	6 Ga	194	17 612	37	105 6	4 71	4 61	243 6	10 85	430	47 8	6 29
	J Ga	239	17 522	45	104 5	4 71	4 59	241 1	13 34	526	58 4	6 28
	10	250	17 500	47	104 6	4 71	4 58	241 0	13 96	550	61 1	6 28
	APi	281	17 438	49	104 0	4 71	4 56	240 0	14 49	570	63 4	6 27
	20	312	17 375	59	102 5	4 71	4 55	237 1	17 36	679	75 5	6 25
	APi	344	17 312	65	102 0	4 71	4 53	235 4	19 08	744	82 6	6 24
	Std	375	17 250	71	101 2	4 71	4 51	233 7	20 76	807	89 6	6 23
	APi	406	17 188	76	100 6	4 71	4 50	232 0	22 44	869	96 6	6 22
	10	438	17 124	82	99 5	4 71	4 48	229 5	24 95	963	107 0	6 21
	X-Std	500	17 000	93	98 2	4 71	4 45	227 0	27 49	1053	117 0	6 19
	40	562	16 876	105	97 2	4 71	4 42	224 0	30 85	1177	130 9	6 17
	--	625	16 750	116	95 8	4 71	4 39	220 5	34 15	1290	143 2	6 14
	60	750	16 500	138	92 5	4 71	4 32	213 8	40 64	1515	168 3	6 10
	--	875	16 250	160	89 9	4 71	4 25	207 4	47 07	1730	192 3	6 05
	80	938	16 124	171	88 5	4 71	4 22	204 2	50 23	1834	203 8	6 04
	--	1 000	16 000	182	87 2	4 71	4 19	201 1	53 41	1935	215 0	6 02
	--	1 125	15 750	203	84 5	4 71	4 12	194 8	59 64	2133	237 0	5 98
	100	1 156	15 688	208	83 7	4 71	4 11	193 3	61 18	2182	242 3	5 97
	--	1 250	15 500	224	81 8	4 71	4 06	188 7	65 78	2319	257 7	5 94
	120	1 375	15 250	244	79 2	4 71	3 99	182 7	71 82	2498	277 5	5 90
	--	1 500	15 000	265	76 6	4 71	3 93	176 7	77 75	2668	296 5	5 86
	140	1 562	14 876	275	75 3	4 71	3 89	173 8	80 66	2750	305 5	5 84
	160	1 781	14 438	309	71 0	4 71	3 78	163 7	90 75	3020	335 5	5 77
	10 Ga	134	19 732	28	132 6	5 24	5 17	305 8	8 36	413	41 3	7 02
	8 Ga	164	19 672	35	131 8	5 24	5 15	303 9	10 22	503	50 3	7 01
	6 Ga	194	19 612	41	131 0	5 24	5 13	302 1	12 07	592	59 2	7 00
	J Ga	239	19 522	50	129 8	5 24	5 11	299 3	14 84	725	72 5	6 99
	10	250	19 500	53	130 0	5 24	5 11	299 0	15 52	759	75 9	6 98
	APi	281	19 438	59	128 6	5 24	5 09	296 8	17 41	846	84 6	6 97
	APi	312	19 374	66	128 1	5 24	5 08	295 0	19 36	937	93 7	6 95
	APi	344	19 312	72	127 0	5 24	5 06	292 9	21 24	1026	102 6	6 95
	Std	375	19 250	79	126 0	5 24	5 04	291 1	23 12	1113	111 3	6 94
	APi	406	19 188	85	125 4	5 24	5 02	289 2	24 99	1200	120 0	6 93
	APi	438	19 124	92	125 1	5 24	5 01	288 0	26 95	1290	129 0	6 92
	X-Std	500	19 000	105	122 8	5 24	4 97	283 5	30 63	1457	145 7	6 90
	40	594	18 812	123	120 4	5 24	4 93	278 0	36 15	1704	170 4	6 86
	--	625	18 750	129	119 5	5 24	4 91	276 1	38 04	1787	178 7	6 85
	60	812	18 376	167	114 9	5 24	4 81	265 2	48 95	2257	225 7	6 79
	--	875	18 250	179	113 2	5 24	4 78	261 6	52 57	2409	240 9	6 77
	1 000	18 000	203	110 3	5 24	4 71	4 71	254 5	59 69	2702	270 2	6 73
	80	1 031	17 938	209	109 4	5 24	4 80	252 7	64 44	2771	277 1	6 72
	--	1 125	17 750	227	107 3	5 24	4 65	247 4	66 71	2981	298 1	6 68
	--	1 250	17 500	250	104 3	5 24	4 58	240 5	73 63	3249	324 9	6 64
	100	1 281	17 438	256	103 4	5 24	4 56	238 8	75 34	3317	331 7	6 63
	--	1 375	17 250	274	101 3	5 24	4 52	233 7	80 45	3508	350 8	6 60
	120	1 500	17 000	297	98 3	5 24	4 45	227 0	87 18	3755	375 5	6 56
	140	1 750	16 500	342	92 6	5 24	4 32	213 8	100 33	4217	421 7	6 48
	160	1 969	16 062	379	87 9	5 24	4 21	202 7	111 49	4586	458 6	6 41

	H Ga	164	21 672	38	159 9	5 76	5 67	368 9	11 25	671	61 0	7 72	
	G Ga	194	21 612	45	159 0	5 76	5 66	366 8	13 29	790	71 8	7 71	
	J Ga	239	21 522	56	157 7	5 76	5 63	363 8	16 34	967	87 9	7 69	
	API	250	21 500	58	157 4	5 76	5 63	363 1	17 18	1010	91 8	7 69	
	API	281	21 438	65	156 5	5 76	5 61	361 0	19 17	1131	102 8	7 68	
	API	312	21 376	72	155 6	5 76	5 60	358 9	21 26	1250	113 6	7 67	
	API	344	21 312	80	154 7	5 76	5 58	356 7	23 40	1373	124 8	7 66	
	API	375	21 250	87	153 7	5 76	5 56	354 7	25 48	1499	135 4	7 65	
	API	406	21 188	94	152 9	5 76	5 55	352 6	27 54	1627	146 1	7 64	
22	22 000	API	438	21 124	101	151 9	5 76	5 53	350 5	29 67	1725	156 8	7 62
	API	500	21 000	115	150 2	5 76	5 50	346 4	33 77	1953	177 5	7 61	
	---	625	20 750	143	146 6	5 76	5 43	338 2	41 97	2400	218 2	7 56	
	---	750	20 500	170	143 1	5 76	5 37	330 1	50 07	2829	257 2	7 52	
	---	875	20 250	198	139 6	5 76	5 30	322 1	58 07	3245	295 0	7 47	
	---	1 000	20 000	224	136 2	5 76	5 24	314 2	65 97	3645	331 4	7 43	
	---	1 125	19 750	251	132 8	5 76	5 17	306 4	73 78	4029	366 3	7 39	
	---	1 250	19 500	277	129 5	5 76	5 10	298 6	81 48	4400	400 0	7 35	
	---	1 375	19 250	303	126 2	5 76	5 04	291 0	89 09	4758	432 6	7 31	
	---	1 500	19 000	329	122 9	5 76	4 97	283 5	96 60	5103	463 9	7 27	
	H Ga	164	23 672	42	190 8	6 28	6 20	440 1	12 28	872	72 7	8 43	
	G Ga	194	23 612	49	189 8	6 28	6 18	437 9	14 51	1028	85 7	8 42	
	J Ga	239	23 522	61	188 4	6 28	6 16	434 5	17 84	1260	105 0	8 40	
	10	250	23 500	63	189 0	6 28	6 15	435 0	18 67	1320	110 0	8 40	
	API	281	23 438	71	187 0	6 28	6 14	431 5	20 94	1472	122 7	8 38	
	API	312	23 376	79	186 9	6 28	6 12	430 0	23 20	1630	136 0	8 38	
	API	344	23 312	87	185 0	6 28	6 10	426 8	25 57	1789	149 1	8 36	
	Std	375	23 250	95	183 8	6 28	6 09	424 6	27 83	1942	161 9	8 35	
	API	406	23 188	102	183 1	6 28	6 07	422 3	30 09	2095	174 6	8 34	
	API	438	23 124	110	182 1	6 28	6 05	420 0	32 42	2252	187 7	8 33	
	X-Strg	500	23 000	125	181 0	6 28	6 02	416 0	36 80	2550	213 0	8 31	
	30	562	22 876	141	178 5	6 28	5 99	411 0	41 40	2840	237 0	8 28	
	---	625	22 750	156	175 9	6 28	5 96	406 5	45 90	3137	261 4	8 27	
	---	688	22 624	171	174 2	6 28	5 92	402 1	50 30	3422	285 2	8 25	
	---	750	22 500	186	172 1	6 28	5 89	397 6	54 78	3705	308 8	8 22	
	---	875	22 250	216	168 6	6 28	5 82	388 8	63 57	4257	354 7	8 18	
	---	969	22 062	238	165 8	6 28	5 78	382 3	70 04	4652	387 7	8 15	
	---	1 000	22 000	246	164 8	6 28	5 76	380 1	72 26	4788	399 0	8 14	
	---	1 125	21 750	275	161 1	6 28	5 69	371 5	80 85	5302	441 8	8 10	
	---	1 219	21 562	297	158 2	6 28	5 65	365 2	87 17	5673	472 8	8 07	
	---	1 250	21 500	304	157 4	6 28	5 63	363 1	89 34	5797	483 0	8 05	
	---	1 375	21 250	332	153 8	6 28	5 56	354 7	97 73	6275	522 8	8 01	
	---	1 500	21 000	361	150 2	6 28	5 50	346 4	106 03	6740	561 7	7 97	
	100	1 531	20 938	367	149 3	6 28	5 48	344 3	108 07	6847	570 6	7 96	
	120	1 812	20 376	429	141 4	6 28	5 33	326 1	126 30	7823	651 9	7 87	
	140	2 062	19 876	484	134 4	6 28	5 20	310 3	142 10	8627	718 9	7 79	
	160	2 344	19 312	542	127 0	6 28	5 06	293 1	159 40	9457	788 1	7 70	
	B Ga	164	25 672	45	224 4	6 81	6 72	517 6	13 31	1111	85 4	9 13	
	G Ga	194	25 612	54	223 4	6 81	6 70	515 2	15 73	1310	100 7	9 12	
	J Ga	239	25 522	66	221 8	6 81	6 68	511 6	19 34	1605	123 4	9 11	
26	26 000	API	250	25 500	67	221 4	6 81	508 8	19 85	1646	126 6	9 10	
	API	281	25 438	77	220 3	6 81	6 66	508 2	22 70	1877	144 4	9 09	
	API	312	25 376	84	219 2	6 81	6 64	505 8	25 18	2076	159 7	9 08	

26
cont

	API	344	25 312	94	218 2	6 81	6 63	503 2	27 73	2280	175 4	9 07
	API	375	25 250	103	217 1	6 81	6 61	500 7	30 19	2478	190 6	9 06
	API	406	25 188	111	216 0	6 81	6 59	498 3	32 64	2673	205 6	9 05
	API	438	25 124	120	214 9	6 81	6 58	495 8	35 17	2874	221 1	9 04
	API	500	25 000	130	212 8	6 81	6 54	490 9	40 06	3259	250 7	9 02
	—	625	24 750	169	208 6	6 81	6 48	481 1	49 82	4013	301 7	8 98
	—	750	24 500	202	204 4	6 81	6 41	471 4	59 49	4744	364 9	8 93
	—	875	24 250	235	200 2	6 81	6 35	461 9	69 07	5458	419 9	8 89
	—	1 000	24 000	267	196 1	6 81	6 28	452 4	78 54	6149	473 0	8 85
	—	1 125	23 750	299	192 1	6 81	6 22	443 0	87 91	6813	524 1	8 80
	—	1 375	23 250	362	184 1	6 81	6 09	424 6	106 37	8088	622 2	8 72
	—	1 500	23 000	393	180 1	6 81	6 02	415 5	115 45	8695	668 8	8 68
	8 Ga	164	29 672	52	299 9	7 85	7 77	691 4	15 37	1711	114 0	10 55
	6 Ga	194	29 612	62	298 6	7 85	7 75	688 6	18 17	2017	134 4	10 53
	3 Ga	239	29 522	76	296 7	7 85	7 73	684 4	22 35	2474	165 0	10 52
	API	250	29 500	79	296 3	7 85	7 72	683 4	23 37	2585	172 3	10 52
	API	281	29 438	89	295 1	7 85	7 70	680 5	26 24	2897	193 1	10 51
	10	312	29 376	99	293 7	7 85	7 69	677 8	29 19	3201	213 4	10 50
	API	344	29 312	109	292 6	7 85	7 67	674 8	32 04	3524	235 0	10 49
	API	375	29 250	119	291 2	7 85	7 66	672 0	34 90	3823	254 8	10 48
	API	406	29 188	130	290 7	7 85	7 64	669 0	37 75	4132	275 5	10 46
	API	438	29 124	138	288 8	7 85	7 62	666 1	40 68	4442	296 2	10 45
	20	500	29 000	158	286 2	7 85	7 59	660 5	46 34	5033	335 5	10 43
	30	625	28 750	196	281 3	7 85	7 53	649 2	57 68	6213	414 2	10 39
	—	750	28 500	234	278 6	7 85	7 46	637 9	68 92	7371	491 4	10 34
	—	875	28 250	272	271 8	7 85	7 39	620 7	80 06	8494	576 2	10 30
	—	1 000	28 000	310	267 0	7 85	7 33	615 7	91 11	9591	639 4	10 26
	—	1 125	27 750	347	262 2	7 85	7 26	604 7	102 05	10653	710 2	10 22
	—	1 250	27 500	364	257 5	7 85	7 20	593 9	112 90	11662	778 8	10 17
	—	1 375	27 250	421	252 9	7 85	7 13	583 1	123 65	12694	846 2	10 13
	—	1 500	27 000	457	248 2	7 85	7 07	572 5	134 30	13673	911 5	10 09
	API	250	31 500	85	337 8	8 38	8 25	779 2	24 93	3141	196 3	11 22
	API	281	31 438	95	336 5	8 38	8 23	776 2	28 04	3525	220 3	11 21
	API	312	31 376	106	335 2	8 38	8 21	773 2	31 62	3891	243 2	11 20
	API	344	31 312	116	333 8	8 38	8 20	770 0	34 24	4287	268 0	11 19
	API	375	31 250	127	332 5	8 38	8 18	766 9	37 25	4656	291 0	11 18
	API	406	31 188	137	331 2	8 38	8 16	764 0	40 29	5025	314 1	11 17
	API	438	31 124	148	329 8	8 38	8 15	760 8	43 43	5407	337 9	11 16
	API	500	31 000	168	327 2	8 38	8 11	754 7	49 48	6140	383 8	11 14
	—	625	30 750	209	321 9	8 38	8 05	742 5	61 59	7574	475 5	11 05
	—	750	30 500	250	316 7	8 38	7 98	730 5	73 63	8990	561 9	11 05
	—	875	30 250	291	311 5	8 38	7 92	718 6	85 53	10368	648 0	11 01
	—	1 000	30 000	331	306 4	8 38	7 85	706 8	97 38	11680	730 0	10 95
	—	1 125	29 750	371	301 3	8 38	7 79	695 0	109 0	13003	812 7	10 92
	—	1 250	29 500	410	296 3	8 38	7 72	680 5	120 7	14398	899 9	10 88
	—	1 375	29 250	450	291 2	8 38	7 66	671 9	132 2	15526	970 4	10 84
	—	1 500	29 000	489	286 3	8 38	7 59	660 5	143 7	16752	1047 0	10 80

32

	API	250	33 500	90	382 0	8 90	8 77	881 2	26 50	3773	221 9	11 93	
	API	281	33 438	101	380 7	8 90	8 75	878 2	29 77	4230	248 8	11 92	
	API	312	33 376	112	379 3	8 90	8 74	874 9	32 99	4680	275 3	11 91	
	API	344	33 312	124	377 8	8 90	8 72	871 6	36 36	5147	302 8	11 90	
	API	375	33 250	135	376 2	8 90	8 70	867 8	39 61	5597	329 2	11 89	
	API	406	33 188	146	375 0	8 90	8 69	865 0	42 88	6047	355 7	11 87	
	API	438	33 124	157	373 6	8 90	8 67	861 7	46 18	6501	382 4	11 86	
34	34 000	API	500	33 000	174	370 8	8 90	8 64	855 3	52 62	7385	434 4	11 85
	--	625	32 750	223	365 0	8 90	8 57	841 9	65 53	9124	536 7	11 80	
	--	750	32 500	266	359 5	8 90	8 51	829 3	78 34	10829	637 0	11 76	
	--	875	32 250	309	354 1	8 90	8 44	816 8	90 66	12442	731 9	11 71	
	--	1 000	32 000	353	348 6	8 90	8 38	804 2	103 6	14114	830 2	11 67	
	--	1 125	31 750	395	343 2	8 90	8 31	791 6	116 1	15703	923 7	11 63	
	--	1 250	31 500	437	337 8	8 90	8 25	779 2	128 5	17246	1014 5	11 58	
	--	1 375	31 250	479	332 4	8 90	8 18	766 9	140 9	18770	1104 1	11 54	
	--	1 500	31 000	521	327 2	8 90	8 11	754 7	153 1	20247	1191 0	11 50	
	--	164	35 672	63	433 2	9 42	9 34	999 3	18 53	2975	165 3	12 67	
	--	194	35 612	74	431 8	9 42	9 32	996 0	21 83	3499	194 4	12 66	
	--	239	35 522	91	429 6	9 42	9 30	991 0	26 86	4293	238 5	12 64	
	API	250	35 500	96	429 1	9 42	9 29	989 7	28 11	4491	249 5	12 64	
	API	281	35 438	107	427 6	9 42	9 28	986 4	31 49	5023	279 1	12 63	
	API	312	35 376	119	426 1	9 42	9 26	982 9	34 95	5565	309 1	12 62	
	API	344	35 312	131	424 6	9 42	9 24	979 3	38 56	6127	340 4	12 60	
	API	375	35 250	143	423 1	9 42	9 23	975 8	42 01	6664	370 2	12 59	
	API	406	35 188	154	421 6	9 42	9 21	972 5	45 40	7191	399 5	12 58	
36	36 000	API	438	35 124	166	420 1	9 42	9 19	968 9	48 93	7737	429 9	12 57
	API	500	35 000	190	417 1	9 42	9 16	962 1	55 76	8785	488 1	12 55	
	--	625	34 750	236	411 1	9 42	9 10	948 3	69 50	10872	604 0	12 51	
	--	750	34 500	282	405 3	9 42	9 03	934 7	83 01	12898	716 5	12 46	
	--	875	34 250	329	399 4	9 42	8 97	921 2	96 60	14906	828 1	12 42	
	--	1 000	34 000	374	393 6	9 42	8 90	907 9	109 9	16851	936 2	12 38	
	--	1 125	33 750	419	387 8	9 42	8 83	894 5	123 3	18766	1042 6	12 34	
	--	1 250	33 500	464	382 1	9 42	8 77	881 3	136 5	20624	1145 8	12 29	
	--	1 375	33 250	509	376 4	9 42	8 70	868 2	149 6	22451	1247 3	12 25	
	--	1 500	33 000	553	370 8	9 42	8 64	855 2	162 6	24237	1346 5	12 21	
	--	250	41 500	112	586 4	10 99	10 86	1352 6	32 82	7126	339 3	14 73	
	--	375	41 250	167	579 3	10 99	10 80	1336 3	49 08	10627	506 1	14 71	
	--	500	41 000	222	572 3	10 99	10 73	1320 2	65 18	14037	668 4	14 67	
	--	625	40 750	276	565 4	10 99	10 67	1304 1	81 28	17373	827 3	14 62	
	--	750	40 500	331	558 4	10 99	10 60	1288 2	97 23	20689	985 2	14 59	
	--	875	40 250	385	551 6	10 99	10 54	1272 3	113 0	23896	1137 9	14 54	
42	42 000	--	1 000	40 000	438	544 8	10 99	10 47	1256 6	128 8	27080	1289 5	14 50
	--	1 125	39 750	492	537 9	10 99	10 41	1240 9	144 5	30193	1437 8	14 45	
	--	1 250	39 500	544	531 2	10 99	10 34	1225 3	160 0	33233	1582 5	14 41	
	--	1 375	39 250	597	524 4	10 99	10 27	1209 9	175 5	36240	1725 7	14 37	
	--	1 500	39 000	649	517 9	10 99	10 21	1194 5	190 8	39181	1865 7	14 33	

V. PROCEDIMIENTOS PARA LA OBTENCION DEL ESPESOR DE PARED DE TUBERIA PARA PRESIONES VACUOMETRICAS. (VACIO)

5.1 TUBERIAS SOMETIDAS A PRESION EXTERNA.

Debido a las condiciones de proceso y a las necesidades que prevalecen, se requiere que algunas de las tuberías de una planta de refinación o cualquier otra planta de proceso trabajen con presiones de vacío, por lo que también se hará mención de los métodos o procedimientos de cálculo de espesor de tuberías que trabajen a vacío.

Para las tuberías destinadas a trabajar bajo presión externa, podemos considerar una presión de diseño exterior de 1.05 Kg/cm^2 (15 Lb/in^2), (condición normal). Para los que no tengan esta condición se considerará 0.17 Kg/cm^2 (2.43 Lb/in^2), dado que todas las tuberías o en su gran mayoría, los cálculos efectuados no deberán estar excentos del diseño por presión exterior de seguridad.

5.2 TERMINOLOGIA UTILIZADA PARA EL CALCULO DE ESPESORES POR PRESION EXTERNA.

En el presente punto se da una descripción breve de los términos que intervienen en el cálculo de espesor por presión exterior.

La terminología que a continuación se describe, es la usada en los cálculos.

- A = Que será un factor determinado de la tabla UGo 28.0 del ASME sección VIII, usadas para entrar en la gráfica del material aplicable en el apéndice V, para el caso de cilindros que tengan valores de D_o/E menores que 10, ver UG.28 (C) (2) que veremos más adelante.
- B = Factor determinado de las gráficas del material --- aplicable en el apéndice V, para la temperatura de diseño máximo del material.
- D_o = Diámetro exterior del tubo o cascaron.
- E = Módulo de elasticidad del material a la temperatura de diseño. (Este valor puede ser obtenido consultando las gráficas UCS-28.2, para materiales aplicables en el apéndice V)
- S = Esfuerzo máximo permisible, se tomará dos veces el valor del esfuerzo máximo permisible a la temperatura de diseño ó 0.9 veces la resistencia a la cedencia del material a la temperatura de diseño.
- L = Longitud de diseño de una sección del tubo. (Que es la longitud máxima entre soldaduras bridas o algún otro tipo de unión)
- P = Presión exterior de diseño (Kg/cm^2) o (PSI)
- P_a = Valor calculado de la máxima presión exterior permisible para el valor de t (kg/cm^2) o (PSI).
- t = Mínimo espesor requerido de un cascaron cilíndrico o tubo, excluyendo la corrosión.

El espesor mínimo requerido de un cascaron cilindrico -- bajo presión externa, será determinado por los procedimientos que se describen en los siguientes puntos.

5.3 CALCULO DEL ESPESOR PARA CILINDROS QUE TENGAN LA CONDICION

$$D_o/t > 10$$

En los siguientes puntos está la descripción de los pasos a seguir para encontrar el espesor de la tubería de acuerdo a la condición establecida.

- 5.3.1) Con el valor de t , obtenido por el diseño por presión interior o en su defecto por dar o suponer un valor de t , obtener las relaciones L/D_o y D_o/t .
- 5.3.2) Entrar o consultar la gráfica UGO 28.0 del apéndice V con el valor de L/D_o y determinar el valor del factor A . Para valores de L/D_o mayores a 50, entrar a la gráfica en el valor $L/D_o = 50$.
- 5.3.3) Recorrer horizontalmente a la línea del valor de D_o/t , se podrá hacer interpolación para valores intermedios. Desde este punto de intersección con el valor de L/D_o , recorrer verticalmente hacia abajo para determinar el factor A .
- 5.3.4) Con el valor de A entrar a la gráfica del material y temperatura de la tubería aplicable en el apéndice V, y determinar el valor del factor B .

En casos donde el valor de A se localice al extremo derecho de la línea material/temperatura, suponer una intersección con la proyección horizontal del extremo superior de la línea material/temperatura para el valor de A, que se localiza a la izquierda de la línea mencionada, se procederá de otra forma. (Ver paso 5.3.7)

5.3.5 De la intersección obtenida en el paso 4 mover -- horizontalmente a la derecha y leer el valor del factor B.

5.3.6 Con el valor de B calcular el valor de la presión máxima exterior permisible Pa, usando la siguiente fórmula:

$$P_a = \frac{4 B}{3 (D_o/t)}$$

5.3.7 Para valores de A se localizan a la izquierda de la línea material/temperatura aplicable, el valor de Pa puede ser calculado usando la siguiente fórmula:

$$P_a = \frac{2 A E}{3 (D_o/t)}$$

5.3.8 Comparar el valor calculado de Pa con P. Si es -- menor que P el procedimiento de diseño, deberá repetirse aumentando el espesor y/o disminuyendo L con anillos atezadores, hasta que Pa sea mayor o igual a P.

Ejemplos:

Cálculo preliminar de espesores de pared para líneas de -
transfer del contrato 1168, la línea 36" P22 A12 A4J y --
36" P22 B12 A4J.

Datos:

Temperatura : 760°F

P = P Atmosférica = 1 ATM = 1.05 Kg/cm² = 15 Lb/in²

D = 36"

T.C. = 0.125"

Y = 0.4

Se = 13120

En Se, consideremos datos de material de tubo sin costura,
realizando el cálculo por fórmula general (ANSI B-31.3)

Tenemos:

$$T = \frac{P \quad D_o}{2 (SE + PY)} + T.C.$$

Modificando por tolerancia de fabricación, tenemos:

$$T = \left(\frac{P \quad D_o}{2 (SE + PY)} \right) 1.125 + T.C.$$

Y sustituyendo valores en la fórmula general correspondien
te, obtenemos el espesor requerido.

$$t = \left(\frac{15 \times 36}{2 (13120 + 15(0.4))} \right) 1.125 + 0.125 =$$

$$\left(\frac{540}{26252} \right) 1.125 + 0.125$$

$$t = 0.148''$$

$t = 0.375$ que corresponde al espesor comercial'

MEMORIA DEL CALCULO PARA LA LINEA DE TRANSFER DEL CONTRATO 1168.

Análisis de las líneas que trabajan en vacío total. Para el análisis de estas líneas se hará de la siguiente forma:

Se analizarán por seguimientos de tramo recto las tuberías de los isométricos 36" P22 A12 A4S y 36" P22 B12 A4J, --- identificando previamente los tramos de tubo recto con -- las letras de la "A" a la "H" como aparece en los isomé-- tricos de dichos tramos, obteniéndose las siguientes medi-- das:

$$\begin{aligned} A-B &= 11.355 \text{ m (447")} \\ C-D &= 10.518 \text{ m (414")} \\ E-F &= 4.958 \text{ m (195.195")} \\ G-H &= 3.979 \text{ m (156.653")} \end{aligned}$$

Que son los tramos correspondientes a ambos isométricos, por ser éstos de arreglos simétricos.

Y haciendo uso del código ASME Sección VIII, División 1 - en el cual encontramos la siguiente expresión:

$$P_a = \frac{4}{3} \frac{(B)}{(D_o/E)}$$

Que se utilizará para obtener la máxima presión exterior permisible para un cilindro con una RELACION $D_o/t = 10$ y así posteriormente calcular las relaciones $\frac{L}{D_o}$ y $\frac{D_o}{t}$, - para obtener los factores A y B, si tenemos los siguientes datos:

Material = ASTM - A387
Temperatura = 760°F (390°C)
Presión = Vacío total
Diámetro = 36"
Espesor = 0.375"
T. a la Corrosión = 0.125"

Como podemos observar aparece en los datos un espesor determinado. Este espesor está dado en base a un cálculo -- preliminar por presión atmosférica, para determinar un espesor más económico y que será el espesor calculado para este caso, procedemos a conocer el trazo definitivo de la línea revisando las condiciones reales de operación, dando paso al cálculo de las relaciones antes enunciadas, y haciendo un análisis por tramos.

Tenemos:

Tramo A-B = 447" = L
L/D_o = 447"/36 = 12.42
D_o/t = 36"/0.250" = 144

El espesor utilizado en este cálculo es: $t = 0.250$ " ya -- que no se está contando con la tolerancia por corrosión - (T.C.) que sabemos que es T.C. = 0.125

Una vez obtenidas las relaciones correspondientes procede

mos a consultar las gráficas correspondientes y estas --
son:

- Las gráficas UGO - 28.0 y UCS -28.1 del código al que se ha hecho referencia anteriormente, y así obtener los valores de A y B respectivamente, de la cual obtenemos que $A = 0.00006$

Con este valor y en la gráfica en donde se encuentra la línea material-temperatura, la cual determina que expresión se debe usar para hacer el cálculo de la -- presión exterior permisible para el caso que ahora se presenta, como el factor A cae del lado izquierdo de la mencionada línea, se procede a emplear la expresión que corresponda:

$$P_a = \frac{2 AE}{3 (D_o/t)}$$

Sustituyendo valores y dado que $E = 22.8 \times 10^6$ que es un valor de la gráfica UGO - 28.2, Tenemos:

$$P_a = \frac{2 (0.00006) (22.8 \times 10^6)}{3 (144)} = \frac{2736}{432} = 6.3333 \text{ PSI}$$

Como podemos observar el tubo en este tramo no soporta la presión calculada, por lo que será necesario el uso de -- aros atiezadores. Por consiguiente, se procederá a un nuevo cálculo para la localización de dichos aros.

Generalmente nunca sabemos cuantos aros necesite un tramo de tubería, pero nos podemos dar cuenta de cuantos aros -- serán los necesarios al comparar las presiones que obten-- gamos con la presión mínima de diseño, una vez que la pre-- sión calculada sea igual o mayor que la presión de diseño y con los aros que se encuentran en el momento de obtener dicha presión, serán los aros que se necesitan para la -- longitud de tubería existente.

Analizando nuevamente el tramo A-B = 447" y como no sabe-- mos cuantos aros necesitamos, probaremos con uno que será colocado al centro de nuestro tramo de tubería y será:

$$\frac{A - B}{2} = \frac{447}{2} = 223.5$$

Y calculando las relaciones correspondientes, tenemos:

$$\frac{L}{D_o} = \frac{223.5}{36} = 6.20$$

$$\frac{D_o}{t} = \frac{36}{0.250} = 144$$

Y obteniendo de gráficas con las relaciones anteriores el valor de A, tenemos:

$$A = 0.00012$$

Y como el valor del factor A lo localizamos al lado izquierdo de la línea material-temperatura, la fórmula correspondiente es la misma que en el caso anterior y, sustituyendo valores tenemos:

$$P_a = \frac{2 (0.00012) (22.8 \times 10^6)}{3 (144)} = \frac{5472}{432} = 12.66 \text{ PSI}$$

Observamos que un aro no es suficiente para lograr u obtener una presión igual o mayor a la mínima deseada, por lo que ahora calcularemos para dos aros atezadores, dividiendo el tramo de tubo en 3 partes simétricas.

Suponiendo nuevamente: $L = \frac{(A-B)}{3} = \frac{447}{3} = 149$

Calculando así también las relaciones:

$$\frac{L}{D_o} = \frac{149}{36} = 4.138$$

$$\frac{D_o}{t} = \frac{36}{0.250} = 144$$

Obtenemos el factor A con las relaciones anteriores

$$A = 0.00018$$

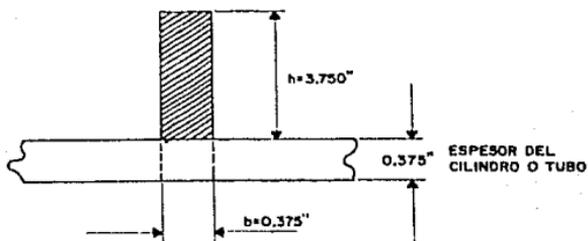
Y como el valor del factor A cae al lado izquierdo de la línea material-temperatura, ya conocemos A y la fórmula a usar.

$$P_a = \frac{2 (0.00018) (22.8 \times 10^6)}{3 (144)} = \frac{8208}{432} = 19 \text{ PSI}$$

Y ésta ya es una presión un tanto mayor a la mínima deseada, por lo que el tramo de tubo (A-B) será dividido en --- tres secciones similares divididas por dos aros atezadores uniformemente distribuidos a lo largo del tramo, tal como aparecen indicados en el isométrico correspondiente.

Y como el tramo A-B es el más crítico, dicho cálculo procederá para los demás tramos de tubería correspondientes a - ambos isométricos por ser arreglos típicos.

Pasos a seguir para el cálculo de los aros atornillados o refuerzos de sección rectangular, se hace para el tramo de tubería A - B dado que es el tramo más crítico del isométrico 36" P22 D12 A4J



SECCION DEL ARO ó REFUERZO

$b = 0.375 =$ Espesor del cilindro

$h = 3.750 = 10$ veces el valor de "b"

$$\text{de } I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(0.375)(3.750)}{12} = \frac{0.375 \times 52.734}{12} = \frac{19.775}{12}$$

$$I = 1.648$$

Cálculo del factor de B.

$$B = \frac{3}{4} = \frac{P D_o}{t} + \frac{A S}{L S} = \frac{0.75 (15 \times 36)}{0.25} + \left(\frac{1.406}{149} \right)$$

$$B = 0.75 \left(\frac{540}{0.2594} \right) = 0.75 \times 2081.727$$

$$B = 1561 \text{ Lb/in}^2$$

$P = 15 \text{ Lb/in}^2 = \text{Presión exterior del cilindro}$

$D_o = 36" = \text{Diámetro del cilindro}$

$t = b - t_c = 0.375 - 0.125 = 0.250$

$LS = 149 = AB/3$ Por quedar dividido en tres seguimientos
el cilindro

$AS = b \times h = 0.375 (3.750) = 1.406$

$T_c = 0.125 = \text{Tolerancia de corrosión}$

Con el valor de B se entra a la gráfica ASME UCS 28.2 para determinar el valor del factor A; como el valor de B cae fuera de la gráfica en el extremo inferior izquierdo, el valor de A se calcula usando la siguiente fórmula:

$$A = \frac{2B}{E} = \frac{2 \times 1551}{29 \times 10^6} = \frac{3122}{29000000}$$

$$A = 0.000108$$

Cálculo del momento de inercia requerido

$$I_s = \frac{D_o^2 LS (t + AS/LS) A}{14}$$

$$I_s = \frac{36^2 (149) (0.25 + 1.406/149) 0.000108}{14}$$

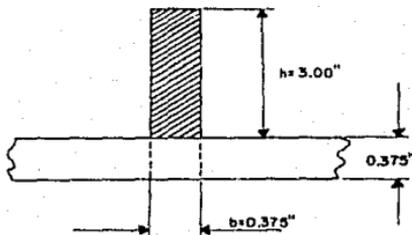
$$I_s = \frac{(1206 \times 149) (0.25 + 0.009463) 0.000108}{14}$$

$$I_s = \frac{(191304 \times 0.2594) + 0.000108}{14}$$

$$I_s = \frac{50,091.179 + 0.000108}{14}$$

$$I_s = \frac{5.4098}{14} = 0.386$$

Considerando que $I_s = 0.386$ $I = 1.648$ se calcula una sección del aro más ligera y dimensión más comercial para su fabricación.



$$b = 0.375 \text{ "}$$

$$h = 3.00 \text{ "}$$

$$\text{Para } h = 3,00 \text{ Tenemos } I = \frac{b h^3}{12} = \frac{0.375 \times (3^3)}{12}$$

$$I = \frac{(.375 (27))}{12} = \frac{10.125}{12} = 0.844$$

Calculando el factor B

$$B = \frac{3}{4} \left(\frac{P D_o}{t} + \frac{AS}{LS} \right)$$

$$B = 0.75 \left(\frac{15 \times 36}{0.25} + \frac{1.125}{149} = \frac{540}{0.25 + 0.00755} \right)$$

$$B = 0.75 \left(\frac{540}{0.2575} \right) = 0.75 \times 2097.087$$

$$B = 1573 \text{ Lb/in}^2$$

$$P = 15 \text{ Lb/in}^2$$

$$D_o = 36 \text{ "}$$

$$t = 0.250 \text{ "}$$

$$AS = B \times h = 0.375 \times 3.00 = 1.125$$

$$LS = 149 \text{ "}$$

$$Tc = 0.125$$

Por conclusión del valor del factor "B" en el cálculo anterior se usará la fórmula para calcular "A"

$$A = \frac{2B}{E} = \frac{2 \times 15}{29 \times 10^6} = \frac{3146}{29000000} = \frac{2 \times 1573}{20 \times 10^6} = \frac{2B}{E}$$

$$A = 0.00018$$

Cálculo del momento inicial requerido

$$I_s = \frac{D_o^2 I_s (t + A_s/L_s) A}{14}$$

$$I_s = \frac{(36)^2 (149) (0.25 + 1.125/149) 0.000108}{14}$$

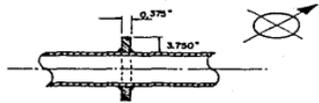
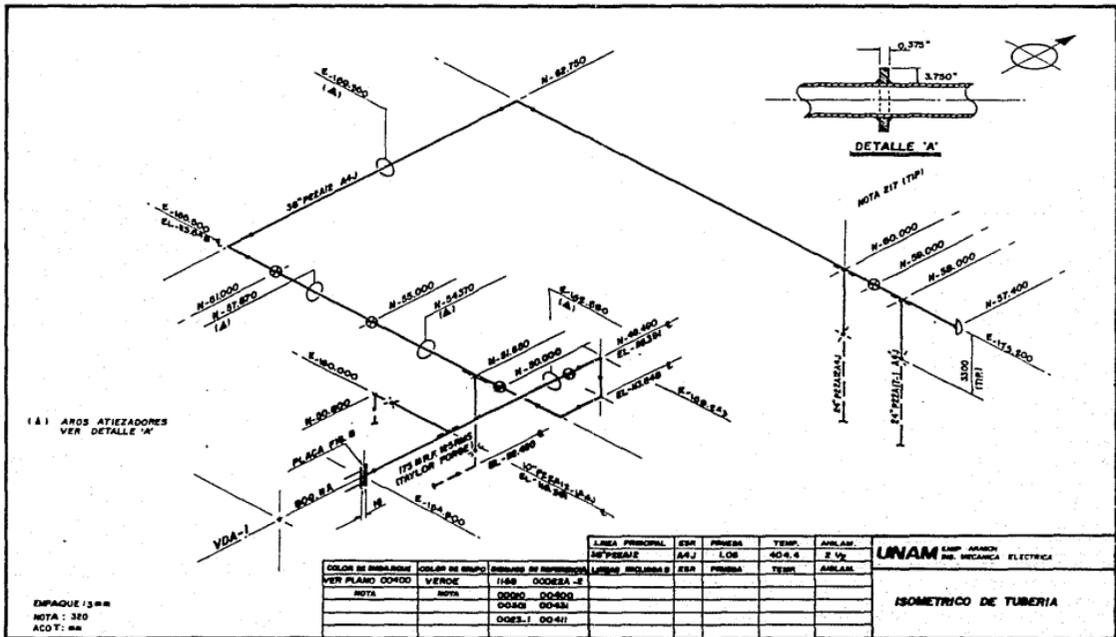
$$I_s = \frac{(1296 \times 149) (0.25 + 0.0075) 0.000108}{14}$$

$$I_s = \frac{(193104 \times 0.2575) 0.000108}{14}$$

$$I_s = \frac{49724.280 \times 0.000108}{14}$$

Considerado que:

$I_s = 0.384$ $I = 0.844$ La sección de los aros atornilladores o refuerzos para el tramo A - B del isométrico 36" P22 A12 - A4J, será $b = 0.375 \times h = 3.00"$ y considerando que siendo el más crítico, los tramos de tubo CD y EF del mismo isométrico llevarán aros de la misma dimensión y ésta aplicación para los aros del isométrico 36" P22 B12 A4J por ser un arreglo típico (simétrico)



DETALLE "A"

NOTA 217 (TRP)

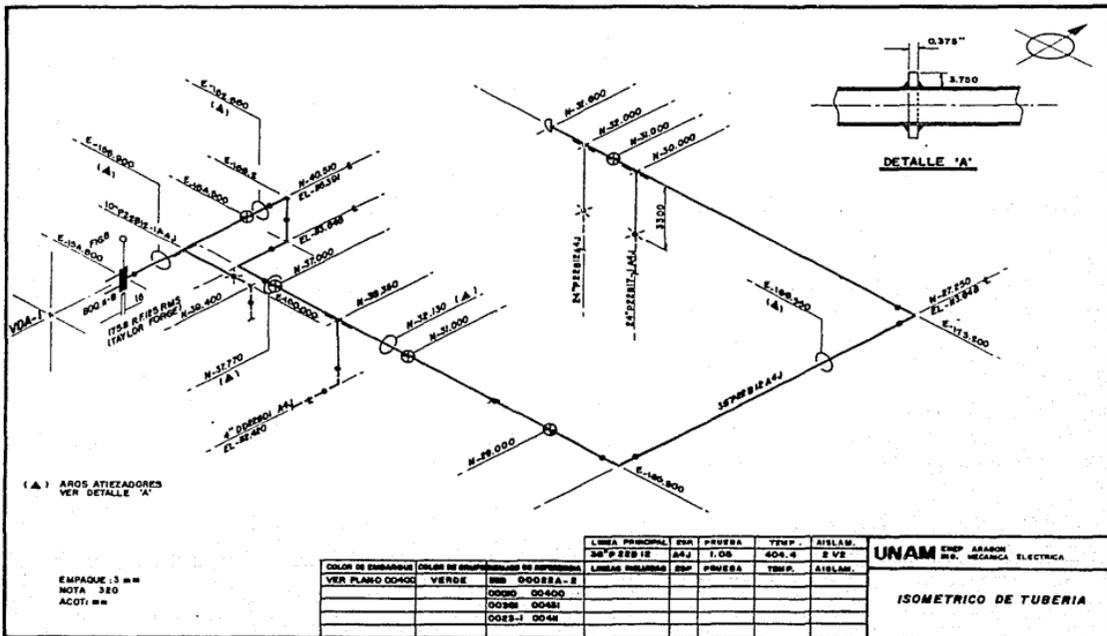
(A) ARDS ATIZADORES
VER DETALLE "A"

DIPAQUE 13 mm
NOTA : 320
ACOT : mm

LINEA PRINCIPAL	ESR	PIRERA	TEMP.	ANLAM.
IMPRESARIE	ARJ	LOS	40-6-6	2 1/2
LINEAS INCLUIDAS	ESR	PIRERA	TEMP.	ANLAM.
COLOR DE MARCACION	COLOR DE BRUNO	GRUPO DE IDENTIFICACION		
VER PLANO COORD	VENCE	1140	0005A-E	
NOTA	NOTA	0000	00001	
		0000	0000M	
		0005-I	00-011	

UNAM CAMP. ARABES
SAR. INGENIERIA ELECTRICA

ISOMETRICO DE TUBERIA



REVISION DE LOS ESPESORES POR PRESIONES DE VACIO DE LAS LINEAS DEL CONTRATO 1260, TRABAJANDO CON PRESIONES DE --- VACIO.

Procedimiento.

El espesor mínimo requerido de un tubo bajo presión externa ya sea con costura o con puntas a tope longitudinales, se determina de la siguiente manera:

Para cilindros que tienen $D_o/t > 10$

$$a) \frac{48}{.375} = 128$$

$$b) \frac{54}{.375} = 144$$

$$c) \frac{60}{.375} = 160$$

Paso 1.- Asumir un valor de t para determinar las relaciones.

$$\frac{L}{D_o} \text{ y } \frac{D_o}{t}$$

$$a) \frac{96}{48} = 2$$

$$b) \frac{81}{54} = 1.5$$

$$c) \frac{30}{60} = .5$$

Paso 2 Entrar a la gráfica UGO - 28.0 del apéndice V, con el valor de L/Do.

Paso 3 Se determina el valor del factor A

a) $- A = 0.00045$

b) $- A = 0.00049$

c) $- A = 0.0014$

Paso 4 Usando el valor A, en la gráfica del material - aplicable ASTM A 672 GR A55 (A 285 C) UCS 28.2

a) B = Valores determinados por caer al

b) B = lado izquierdo de la gráfica

c) B = 13,500

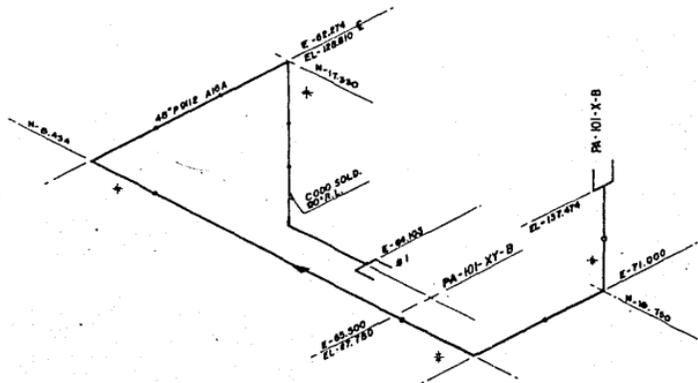
Paso 5 a) $P_a = \frac{2AE}{3(D_o/t)}$, Sustituyendo valores

$$P_a = \frac{2(0.00049)(29.0 \times 10^6)}{3(126)} = \frac{26100}{378} = 69 \text{ [PSI]}$$

b) $P_a = \frac{2(0.00049)(29.0 \times 10^6)}{3(144)} = \frac{26420}{432} = 65.78 \text{ [PSI]}$

c) $P_a = \frac{4B}{3(D_o/t)}$ = Sustituyendo valores

$$P_a = \frac{4(13500)}{3(160)} = \frac{54000}{480} = 112.5 \text{ [PSI]}$$

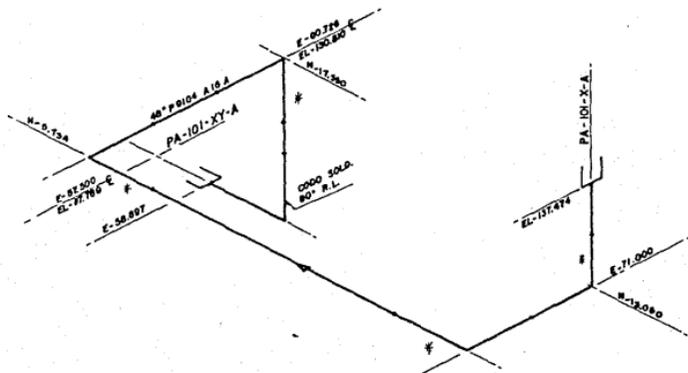


NOTA:
 + CODO DE 90° DE RADIO
 ACOT. 90°

COLOR DE ENMARCAR	COLOR DE GRUPO	DIAMETRO DE SUPERFICIE	LINEA PRINCIPAL	SEN	FINESDA	TEMP.	ANJAM.
AZUL-VERDE	AZUL	1250 - Ø78-100	45° P 012	AISA	LOS	90°	P-1V8
		1250 - Ø1	LINEAS SOLIDAS	SEN	FINESDA	TEMP.	ANJAM.
		900 - ØØ7					

UNAM ENEP ARAGON
 DIV. MECANICA ELECTRICA

ISOMETRICO DE TUBERIA



NOTA:
 † CODO DE 3 80 DE RADIO
 ACOT: =

COLOR DE EMPALME		CUBEN BY EMPALMES DE EMPALME		LINEA PRINCIPAL 40° P 104	EP AJBA	POBDA LOS	TEMP 08°	ANILAM P-1V E-
AZUL - VERDE	AZUL	ROJO - NRO - 100	ROJO - N	LINEA SECUNDARIA	EP	POBDA	TEMP	ANILAM

UNAM S.A. DE C.V. INGENIERIA ELECTRICA

ISOMETRICO DE TUBERIA

Paso 6 Si P_a es mayor o igual que P , el espesor es el adecuado para P , en estos casos es la presión atmosférica 103 (KPa).

Verificación de 2 isométricos con diferentes condiciones de temperatura de 8" y 10" de diámetro respectivamente.

- Para cilindros que tienen $D_o/t > 10$

(8") - A) $8.625/.322 = 27$

(10") - B) $10.750/.365 = 29.5$

- Obtener L/D_o

a) $219.4/8.625 = 25.43$

b) $730.5/10.750 = 67.95$

- Se determina el factor Λ

a) $\Lambda = 0.0015$

b) $\Lambda = 0.0013$

Paso 4 Entrar en la gráfica con el valor de A y encontrar B, según convenga.

a) $T = 264^{\circ}\text{C} = 507^{\circ}\text{F}$ y empleando $E = 27 \times 10^6$ Psi
 $a = B = 11000$

b) $T = 228^{\circ}\text{C} = 442^{\circ}\text{F}$ y con el mismo módulo:
 $b = B = 11000$

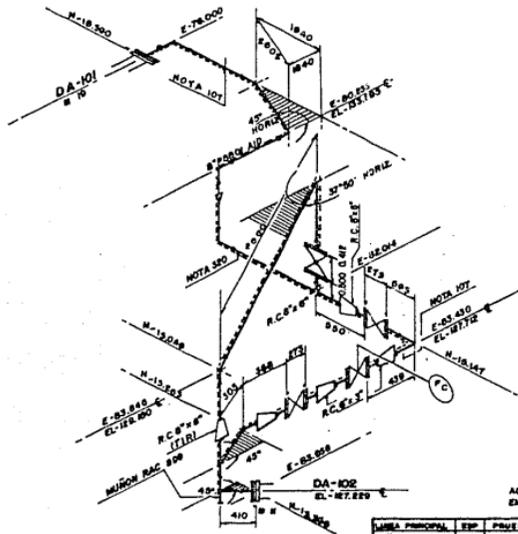
Empleando la fórmula correspondiente encontrar la presión de trabajo máxima permisible externa.

a) $P_a = \frac{4 B}{3(D_o/t)}$: Sustituyendo valores, tenemos:

$$P_a = \frac{4 (11000)}{3 (27)} = \frac{44000}{81} = 543 \text{ [Psi]}$$

b) Desarrollando la operación de la misma forma, dado el resultado de la gráfica, tenemos:

$$P = \frac{4 (11000)}{3 (29.5)} = \frac{44000}{88.5} = 497 \text{ [Psi]}$$



ACOT: mm
EMPAQUE: 3 mm

COLOR DE EMBAJADO		COLOR DE BRONCEAJOS DE REPRESENTACION	LINIA PRINCIPAL	ESP	PRIMERA	TEMP.	ASLAM.
AZUL	VERDE	AZUL	8" PABCI	AID	LOS	204°C	P-I 1/2"
			LINIAS AUXILIARIAS	ESP	PRIMERA	TERRA	ASLAM.
			1200-POF				
			1200-198				
			1200-007B				
			1200-008B				

UNAM EMPRESA ABASCH MEXICANA ELECTRICA

ISOMETRICO DE TUBERIA

Se tiene una tubería de 80in de diámetro que soporta una presión de 30 PSI a lo largo de 180in y con una temperatura de 500°F. Calcular o estimar cuál será el espesor adecuado de dicha tubería.

Datos:

$$D = 80\text{in}$$

$$P = 30\text{ PSI}$$

$$L = 180\text{in}$$

$$T_D = 500^\circ\text{F}$$

Espesor adecuado = ?

Suponiendo que en el cálculo por presión exterior el espesor obtenido halla sido de $t = 1.5\text{in}$, se tiene que:

$$\frac{L}{D_o} = \frac{180}{80} = 2.25$$

$$\frac{D}{t} = \frac{80}{1.5} = 63.3$$

Con los valores respectivos de $L/D_o = 2.25$ y $D_o/t = 53$, se obtiene el valor de A de la figura UGO 28, cuyo valor es de $A = 0.0015$. Y de las tablas para esfuerzos máximos permisibles UCS 28.2 del mismo código, con el valor de A y la temperatura de diseño T_D , se obtiene el valor de B .

$$B = 11000$$

Sustituyendo valores,

$$P_a = \frac{4 B}{3 (53)} = \frac{4 (11000)}{159} = 277\text{ PSI}$$

Como se puede observar en el resultado de la expresión -- anterior, el valor de Pa es mucho mayor que el valor de P, lo cual nos indica que el espesor supuesto para dicha tubería soporta una presión mayor a la de diseño, por efectos de economía nos indica que dicho espesor es demasiado sobrado para estas condiciones y optimizando nuestro cálculo, podemos disminuir el costo que esto implica.

Trataremos de encontrar el espesor adecuado a las condiciones que nuestro sistema o proceso requiere. Esto lo -- lograremos para el caso disminuyendo el espesor de dicha tubería y realizando nuevamente los cálculos:

Suponiendo $t = 0.5$, tenemos que nuestra relación queda de la siguiente forma:

$$\frac{L}{D_o} = \frac{180}{80} = 2.25 \quad ; \quad \frac{D}{t} = \frac{80}{0.5} = 160$$

Y procediendo de la misma forma para obtener los valores de A y B, y sustituyendo en la forma correspondiente.

Tenemos:

Que la figura UGO 28 $A = 0.00028$

Y de la figura UCS 28.2 $B = 3800$

Y sustituyendo dichos valores tenemos:

$$P_a = \frac{4 (3800)}{3 (160)} = 32 \text{ PSI}$$

Dicho valor de Pa se aproxima al valor de P, por lo que -

el espesor $t = 0.5$, es el espesor adecuado para dicha tubería.

Tenemos una tubería bajo las siguientes condiciones de -- operación y deseamos obtener o saber el espesor óptimo -- para dichas condiciones, esta tubería trabaja a condiciones normales de presión; $P = 15 \text{ Lb/in}^2$ es de un diámetro de 42" y una longitud de 424.7in y trabaja a 300°F, el -- material de que fue construida es: Acero al Carbón

$$T = 300^\circ\text{F}$$

$$L = 424.7\text{in}$$

$$P = 15 \text{ PSI}$$

$$D_o = 42" \text{ (in)}$$

Para el tipo de material se requiere consultar la gráfica UCS 28.2 como se indica en la tabla.

Obteniéndose las relaciones correspondientes bajo el mismo procedimiento, tenemos:

$$\frac{D_o}{t} = \frac{42}{0.25} = 168 \quad 10 ; \quad \frac{L}{D_o} = \frac{424.7}{42} = 10.11$$

Con estos valores en la gráfica UCS 28.2 se obtiene que -- $A = 0.000051$; como este valor cae en la parte izquierda de la gráfica, se aplican las indicaciones hechas en el punto 5.3.7 y sustituyendo en la fórmula correspondiente, tenemos:

$$P_a = \frac{2AE}{3(D_o/t)}$$

Para un valor de 300°F y sustituyendo dichos valores, tenemos:

$$P_a = \frac{(2) (0.000051) (29 \times 10^6)}{3 (160)} = 5.86 \text{ PSI}$$

Comparamos con P, se observa que P_a es menor que P, por lo que será necesario aumentar el espesor para satisfacer dichos requerimientos del proceso.

Suponiendo:

$$t = 0.375 \text{ in} \quad t = \frac{3}{8} \quad \text{Y sustituyendo}$$

Tenemos:

$$t = \frac{3}{8} \quad \frac{L}{D_o} = 10.11, \quad \frac{D}{t} = \frac{42}{0.375} = 112$$

De UGO 28 A = 0.000012

$$P_a = \frac{2 AE}{3 D_o / t} = \frac{2(0.00072) (29 \times 10^6)}{3 (112)} = 20.71$$

P_a = 20.71 , P = 15 PSI que son valores aproximados, dicho espesor será por lo tanto el que cubra los requisitos que se presentan en esta tubería

$$t = 3/8 = 0.375 \text{ in}$$

5.4 CALCULO DEL ESPESOR PARA CILINDROS QUE TENGAN LA CONDICION DE $Do/t < 10$

- 5.4.1 Usando el mismo procedimiento de UG 28 (C) (1) descrito anteriormente, obtener el valor de B para valores de Do/t menor que 10; el valor del factor A puede ser calculado de la siguiente forma:

$$A = \frac{1.1}{(Do/t)^2}$$

Para valores de A mayores de 0.10 usar un valor de 0.10.

- 5.4.2 Usando el valor de B obtenido en el paso 5.4.1, -- calcular un valor de Pa_1 usando la siguiente fórmula:

$$Pa_1 = \left[\frac{2.267}{(Do/t)} - 0.08333 \right] B$$

- 5.4.3 Calcular un valor Pa_2 , usando la siguiente fórmula:

$$Pa_2 = \frac{2 S}{(Do/t)} = \left[1 - \frac{1}{Do/t} \right]$$

Cuando "S" es menor que 2 veces el valor del esfuerzo máximo permisible a la temperatura de diseño de la tabla aplicable en la subsección C ó 0.9 veces.

La resistencia de la cedencia del material a la temperatura de diseño. Valores de la resistencia de cedencia tabulados en la división 2 de la sección VIII, pueden ser usados en lugar de la división 1.

5.4.4 El valor más pequeño de los valores de Pa_1 calculados en el paso 5.4.2 ó Pa_2 calculados en el paso 5.4.3, serán usados para la presión máxima exterior permisible Pa .

Comparar Pa con P . (Usar el mismo criterio que el primer procedimiento descrito)

Ejemplo:

Para un material ASTM - A335 Grado P.11

Determinar la máxima presión externa que un tubo puede soportar a la temperatura indicada, teniendo dicho tubo un diámetro de 6" con un espesor supuesto de 0.718" y una longitud de $L = 40$ " y una temperatura de 800°F.

Con los datos anteriormente descritos y calculando las relaciones respectivas, tenemos:

$$t = 0.718"$$

$$D = 6"$$

$$L = 40"$$

$$\text{temperatura} = 800^\circ\text{F}$$

$$\frac{L}{D_o} = \frac{40}{6.625} = 6.04$$

$$\frac{D_o}{t} = \frac{6.625}{0.718} = 9.22$$

De la gráfica UGO - 28.0 se obtiene el valor de A el cual es:

$$A = 0.015$$

Y para el tipo de material de que se trata, se utiliza la gráfica UCS.28.2 para obtener el valor de B.

$$B = 11,100$$

Sustituyendo valores de la fórmula correspondiente para obtener el valor de Pa_1 .

$$Pa_1 = \left[\frac{2.167}{(Do/t)} - 0.08333 \right] B = \left[\frac{2.167}{9.22} - 0.08333 \right]$$

$$11,100$$

$$Pa_1 = 1684 \text{ PSI}$$

Para obtener el valor de Pa_2 se requiere saber el valor de S, el cual se obtendrá de la siguiente forma:

Consultando el apéndice A del código ANSI B31.3 -- para obtener el valor de S

Y cuyo valor es en dicha tabla:

$$S = 15,000$$

A la vez obtendremos el valor de S_y que lo localizaremos en la tabla ACS-2 del ASME Sección VIII -- División 2, siendo $S_y = 22,500$ de la tabla antes mencionada.

El criterio a seguir aquí para seleccionar que esfuerzo es el que se va a autorizar para efectuar dicho cálculo es el siguiente:

Se seleccionará el valor menor de esfuerzo de acuerdo a 2 veces el esfuerzo permisible.

Es decir:

$$2S = 2 (15000) = 30,000 \text{ PSI}$$

Y para el esfuerzo a la cedencia el criterio a seguir será: 0.9 veces el valor del esfuerzo a la cedencia S_y y a la temperatura indicada, quedando de la siguiente forma:

$$0.9 S_y = 0.9 (22,500) = 20,250 \text{ PSI}$$

Seleccionar el menor valor para S . Ya se puede calcular Pa_2 , el valor menor como podemos observar es:

$$S = 20,250 \text{ PSI}$$

$$Pa_2 = \frac{2 S}{(D_o/t)} \left[1 - \frac{1}{D_o/t} \right] = 4351.34$$

Y según el criterio tomado en el punto 5.4.4 que dice que el valor de la presión máxima exterior permisible será aquella que al hacer la comparación de los valores de Pa_1 y Pa_2 resulte menor, ese será el valor que corresponda a dicha presión máxima exterior permisible Pa .

Y haciendo la mencionada comparación observamos que el valor menor es el que corresponde a $Pa_1 = Pa$, - por lo cual la máxima presión exterior permisible es:

$$Pa_1 = Pa = 1684 \text{ PSI}$$

5.5 METODO GRAFICO

Este método es esencialmente igual que el anterior, por - tanteo, se supone un espesor teniendo previamente el diámetro y longitud de tubo, obteniendo un valor de Pa . Suficientemente confiable en este método se emplean la tabla V y las figuras 1 y 3, las cuales están basadas en cálculos detallados.

Resolviendo un ejemplo del método de $Do/t > 10$, tenemos:

Datos:

Material ASTM 515 Grado 70

$$Pa = 30 \text{ PSI}$$

$$T = 500 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$L/D = 2.25$$

$$D/t = 10$$

En la tabla V se observa que el material está clasificado con la letra B, con el valor de $Pa = 30 \text{ PSI}$ y $T = 500^\circ\text{F}$. se entra a la figura 1 (curva B-500°F) a partir de este - punto recorrido en forma horizontal hacia la derecha se - intersecta con el valor de $L/Do = 2.25$, lo que nos propor - ciona un valor de $D/t = 160$, y despejando t tenemos:

$$t = \frac{D}{160} = \frac{.80}{160} = 0.5 \quad \text{por lo que } t = 0.5 \text{ in}$$

```

20 *****
30 *****
40 *****
50 *****
60 *****
70 *****
80 PRINT "          Terminologia"
90 PRINT
100 PRINT
110 PRINT "A = Factor determinado en la Figura 1 (UGD-28.0 ASME."
120 PRINT "    Seccion III)"
130 PRINT
140 PRINT "B = Factor aplicable para la temperatura del material."
150 PRINT "    determinado en las Figuras de la seccion III."
160 PRINT
170 PRINT "Do = Diametro exterior del cascaron o tubo"
180 PRINT
190 PRINT "E = Modulo de elasticidad del material a la temperatura"
200 PRINT "    de diseno."
210 PRINT
220 PRINT "G = El menor de los siguientes valores:"
230 PRINT
240 PRINT "    Dos veces el valor del esfuerzo maximo permisible"
250 PRINT "    a la temperatura de diseno o 0.9 veces la resistencia a"
260 PRINT "    la cedencia del material a la temperatura de diseno."
270 PRINT
280 PRINT "Pa = Valor calculado de la maxima presion exterior"
290 PRINT "    permisible para el valor de L (Psia)"
300 PRINT
310 PRINT "t = Espesor minimo requerido de un cascaron cilindrico"
320 PRINT "    o un tubo excluyendo la corrosion."
330 PRINT
340 PRINT "L = Longitud de diseno del tubo (Longitud maxima entre"
350 PRINT "    bridas o algun tipo de union, excepto soldaduras."
360 PRINT
370 PRINT "P = Presion maxima exterior de diseno (que es la pre-"
380 PRINT "    sion maxima de diseno)."
390 PRINT
400 PRINT
410 PRINT "Como los siguientes valores:"
420 PRINT "Como los siguientes valores:"
430 INPUT "Do = ";DO
440 LPRINT "Do = ";DO;" Pulgadas"
450 INPUT "E = ";E
460 LPRINT "E = ";E
470 INPUT "S = ";S
480 LPRINT "S = ";S;" Psia"
490 INPUT "L = ";L
500 LPRINT "L = ";L;" Pulgadas"
510 INPUT "P = ";P
520 LPRINT "P = ";P;" Psia"
530 INPUT "Temp = ";TE
540 LPRINT "Temp = ";TE;" °F"
550 INPUT "t = ";t
560 LPRINT "t = ";t;" Pulgadas"
570 FOR I=DO TO t
580 LINE/DG
590 IF DO<10 GOTD 1030
600 PRINT
610 PRINT "Metodo para tubos con Do/t >10"
620 PRINT "Metodo para tubos con Do/t >10"
630 PRINT "Solo el factor de A para:"

```

```

640 LPRINT "Dame el factor de A para:"
650 PRINT "L/Do = ";L1
660 LPRINT "L/Do = ";L1
670 PRINT "Co/T = ";DO1
680 LPRINT "Do/T = ";DO1
690 INPUT "A = ";A
700 LPRINT "A = ";A
710 PRINT
720 LPRINT
730 PRINT "Dame el factor de B para"
740 LPRINT "Dame el factor de B para"
750 PRINT "A = ";A
760 LPRINT "A = ";A
770 PRINT "Temp = ";TE
780 LPRINT "Temp = ";TE ; " °F"
790 PRINT
800 LPRINT
810 PRINT "Si tu valor de A cae a la izquierda de la línea"
820 LPRINT "Si tu valor de A cae a la izquierda de la línea"
830 PRINT "material temperatura escribe un cero."
840 LPRINT "material temperatura escribe un cero."
850 INPUT "B = ";B
860 LPRINT "B = ";B
870 IF B=0 GOTO 1010
880 PA=41B/(3*DO/T)
890 IF ABS(PA-P)<5 GOTO 1530
900 IF PA>P GOTO 960
910 PRINT "Aumenta el valor de t pues"
920 LPRINT "Aumenta el valor de t pues"
930 PRINT "Pa = ";PA
940 LPRINT "Pa = ";PA;" Psia"
950 GOTO 850
960 PRINT "Disminuye el valor de t pues"
970 LPRINT "Disminuye el valor de t pues"
980 PRINT "Pa = ";PA
990 LPRINT "Pa = ";PA;" Psia"
1000 GOTO 850
1010 PA=(2*TE)/(3*DO/T)
1020 GOTO 0*0
1030 PRINT
1040 LPRINT
1050 PRINT "Metodo para tubos con Do/t <= 10"
1060 LPRINT "Metodo para tubos con Do/t <= 10"
1070 A=1.1/((DO/T)^2)
1080 PRINT
1090 LPRINT
1100 PRINT "Dame el valor de B; Si tu valor de A > 0.10"
1110 LPRINT "Dame el valor de B; Si tu valor de A > 0.10"
1120 PRINT "usa el valor de 0.10 para A"
1130 LPRINT "usa el valor de 0.10 para A"
1140 PRINT "A = ";A
1150 LPRINT "A = ";A
1160 INPUT "B = ";B
1170 LPRINT "B = ";B
1180 PA1=(2.167/(DO/T))-0.033)*B
1190 PA2=(2*5/(DO/T))*(1-1/(DO/T))
1200 IF PA1>PA2 GOTO 1370
1210 IF ABS(PA1-P)<5 GOTO 1530
1220 IF PA1>P GOTO 1300
1230 PRINT
1240 LPRINT
1250 PRINT "Aumenta el valor de t pues"
1260 LPRINT "Aumenta el valor de t pues"
1270 PRINT "Pa1 = ";PA1
1280 LPRINT "Pa1 = ";PA1;" Psia"
1290 PRINT

```

```

1370 PRINT
1380 PRINT
1390 PRINT
1400 PRINT "Disminuye el valor de t pues"
1410 LPRINT "Disminuye el valor de t pues"
1420 PRINT "Pa1 = ";PA1
1430 LPRINT "Pa1 = ";PA1;" Psia"
1440 GOTO 550
1450 IF ABS(PA2-P) < 5 GOTO 1530
1460 IF PA2 > 0 GOTO 1460
1470 PRINT
1480 LPRINT
1490 PRINT "Aumenta el valor de t pues"
1500 LPRINT "Aumenta el valor de t pues"
1510 PRINT "Pa2 = ";PA2
1520 LPRINT "Pa2 = ";PA2;" Psia"
1530 GOTO 550
1540 PRINT
1550 LPRINT
1560 PRINT "Disminuye el valor de t pues"
1570 LPRINT "Disminuye el valor de t pues"
1580 PRINT "Pa2 = ";PA2
1590 LPRINT "Pa2 = ";PA2;" Psia"
1600 GOTO 550
1610 PRINT
1620 LPRINT
1630 PRINT "El valor del espesor que requieres es"
1640 LPRINT "El valor del espesor que requieres es"
1650 PRINT "t = ";T
1660 LPRINT "t = ";T;" Pulgadas"
1670 END

```

Dame los siguientes valores:

DO = 80 Pulgadas

E = 0

B = 0 Psia

L = 180 Pulgadas

P = 30 Psia

Temp = 500 °F

t = 1.5 Pulgadas

Método para tubos con Do/t >10

Dame el factor de A para:

L/Do = 2.25

Do/T = 53.33333

A = .0015

Dame el factor de B para

A = .0015

Temp = 500 °F

Si tu valor de A cae a la izquierda de la línea
material temperatura escribe un cero.

B = 11000

Disminuye el valor de t pues

Pa = 275 Psia

t = .5 Pulgadas

Método para tubos con Do/t >10

Dame el factor de A para:

L/Do = 2.25

Do/T = 160

A = .00028

Dame el factor de B para

A = .00028

Temp = 500 °F

Si tu valor de A cae a la izquierda de la línea
material temperatura escribe un cero.

B = 3800

El valor del espesor que requieres es

t = .5 Pulgadas

Dame los siguientes valores:
DO = 42 Pulgadas
E = 2.7E+07
S = 0 Psi
L = 421.7 Pulgadas
P = 15 Psi
Temp = 300 °F
t = .25 Pulgadas
Metodo para tubos con Do/t >10
Dame el factor de A para:
L/DO = 10.11191
Do/T = 168
A = .000051

Dame el factor de B para
A = .000051
Temp = 300 °F

Si tu valor de A cae a la izquierda de la línea
material temperatura escribe un cero.

B = 0

Aumenta el valor de t pues

Pa = 5.867048 Psi

t = .325 Pulgadas

Metodo para tubos con Do/t >10

Dame el factor de A para:

L/DO = 10.11191

Do/T = 112

A = .00012

Dame el factor de B para
A = .00012
Temp = 300 °F

Si tu valor de A cae a la izquierda de la línea
material temperatura escribe un cero.

B = 0

Disminuye el valor de t pues

Pa = 20.71427 Psi

t = .5 Pulgadas

Metodo para tubos con Do/t >10

Dame el factor de A para:

L/DO = 10.11191

Do/T = 125.5294

A = .0001

Dame el factor de B para
A = .0001
Temp = 300 °F

Si tu valor de A cae a la izquierda de la línea
material temperatura escribe un cero.

B = 0

El valor del espesor que requieres es
L = .74 Pulgadas

Dame los siguientes valores:

DD = 6 Pulgadas
E = 0
S = 20250 Psia
L = 40 Pulgadas
P = 1684.23 Psia
Temp = 800 °F
t = .718 Pulgadas

Metodo para tubos con Do/t <= 10

Dame el valor de B; Si tu valor de A > 0.10
usa el valor de 0.10 para A

A = 1.575212E-02
B = 11100

Disminuye el valor de t pues

Fal = 1753.796 Psia
t = .652 Pulgadas

Metodo para tubos con Do/t <= 10

Dame el valor de B; Si tu valor de A > 0.10
usa el valor de 0.10 para A

A = 1.298729E-02
B = 11051

El valor del espesor que requieras es

t = .652 Pulgadas

LONGITUD DEL QUANTNO EXTERIOR = $\frac{L}{D_o}$

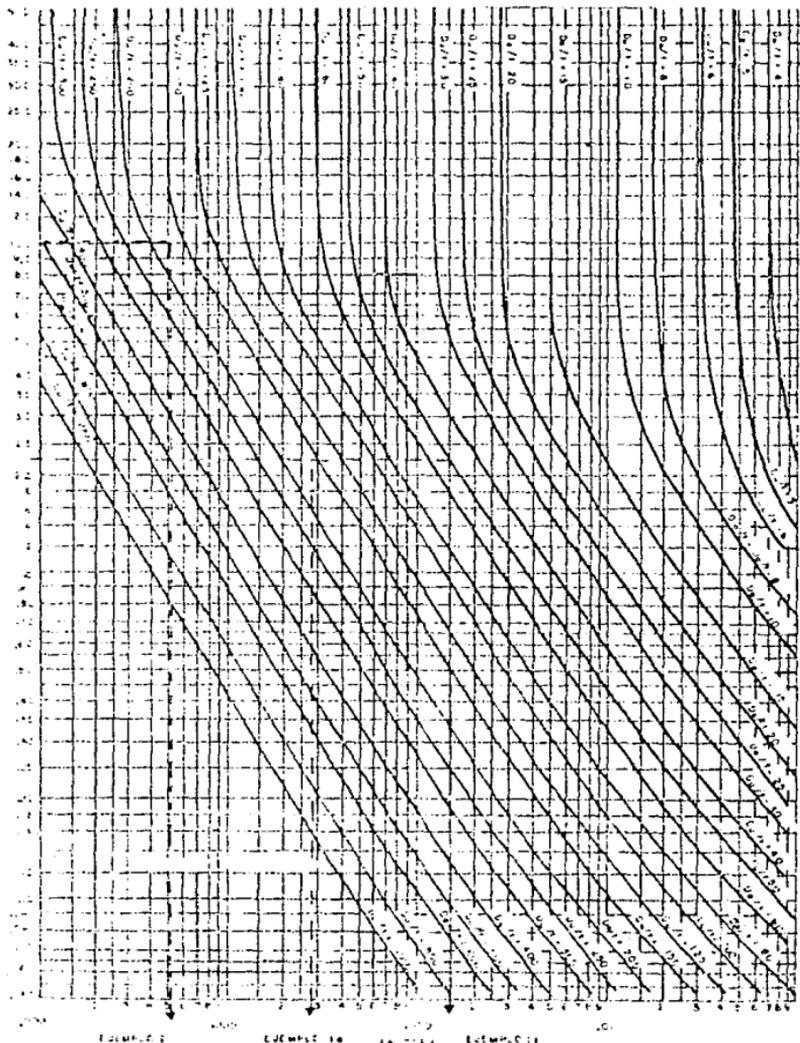


FIG. 1A | GRÁFICA GEOMÉTRICA PARA RECIPIENTES CILÍNDRICOS BAJO PRESIÓN EXTERNA O CARGA COMPRESIVA (PARA TODOS LOS MATERIALES)

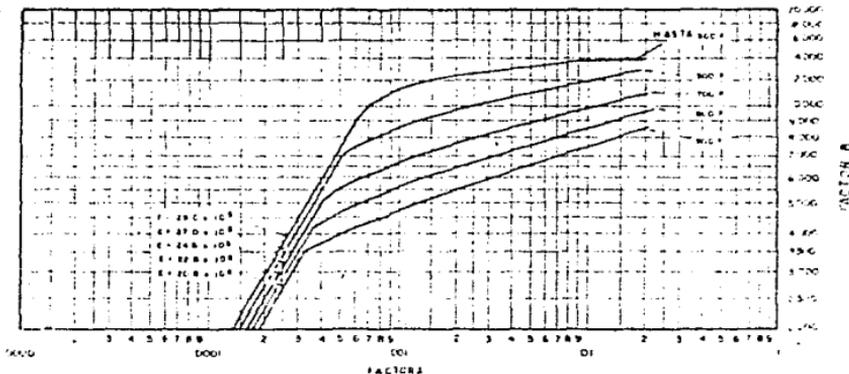


FIG. 2 GRÁFICA PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE CASCARON DE RECIPIENTES CILINDRICOS Y ESFERICOS BAJO PRESION EXTERNA CONSTRUIDOS DE ACERO AL CARBONO O BAJA ALEACION Y ACERO INOXIDABLE TIPO 40S Y 410 (ESFUERZO MINIMO ESPECIFICO A LA CEDENCIA 24000 PSI, HASTA, PERO SIN INCLUIR, 30000 PSI)

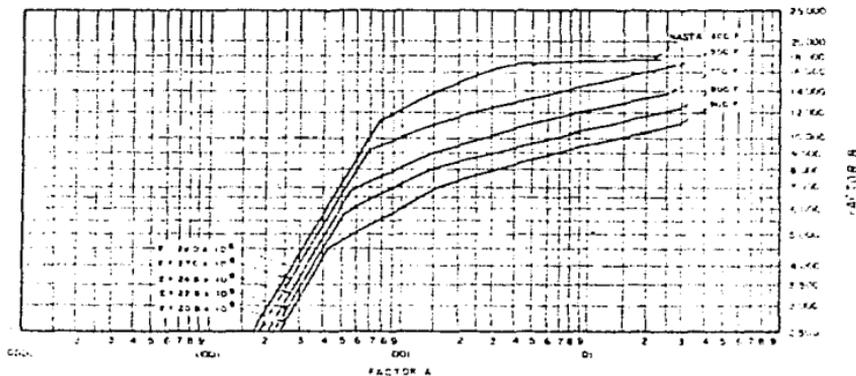


FIG. 3 GRÁFICA PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE CASCARON DE RECIPIENTES CILINDRICOS Y ESFERICOS BAJO PRESION EXTERNA CONSTRUIDOS DE ACERO AL CARBONO O BAJA ALEACION Y ACERO INOXIDABLE TIPO 40S Y 410 (ESFUERZO MINIMO ESPECIFICO A LA CEDENCIA 30000 PSI, Y MAYORES EXCEPTO PARA MATERIALES DENTRO DE ESTE RANGO ESPECIFICADOS EN OTRAS GRÁFICAS) Y TAMBIEN PARA ACEROS INOXIDABLES TIPO 40S Y 410

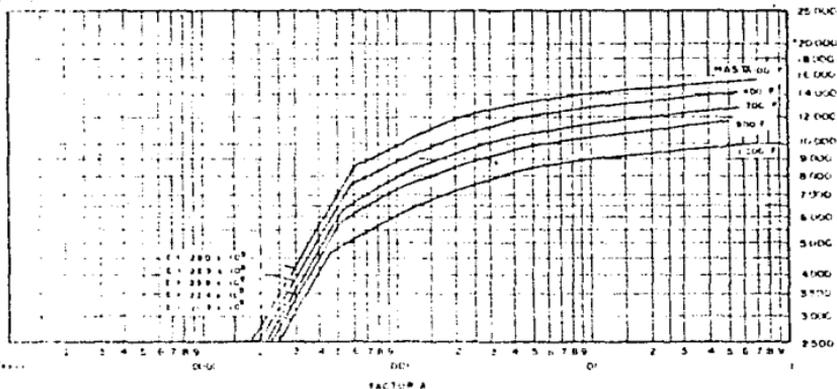


FIG 4 GRAFICA PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE CASCARON DE RECIPIENTES CILINDRICOS Y ESFERICOS BAJO PRESION EXTERNA CONSTRUIDOS DE ACERO AUSTENITICO TIPOS 316,321,347, 309,30 Y 430

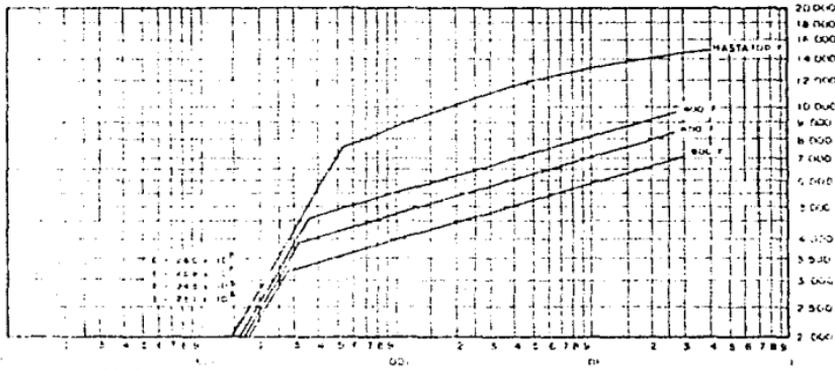


FIG 5 UGO 28.2

GRAFICA PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE CASCARON DE RECIPIENTES CILINDRICO Y ESFERICOS BAJO PRESION EXTERNA CONSTRUIDOS DE ACERO AUSTENITICO (304-304 L, 316-316 L, 321-321 L, 347, 309, 30 Y 430)

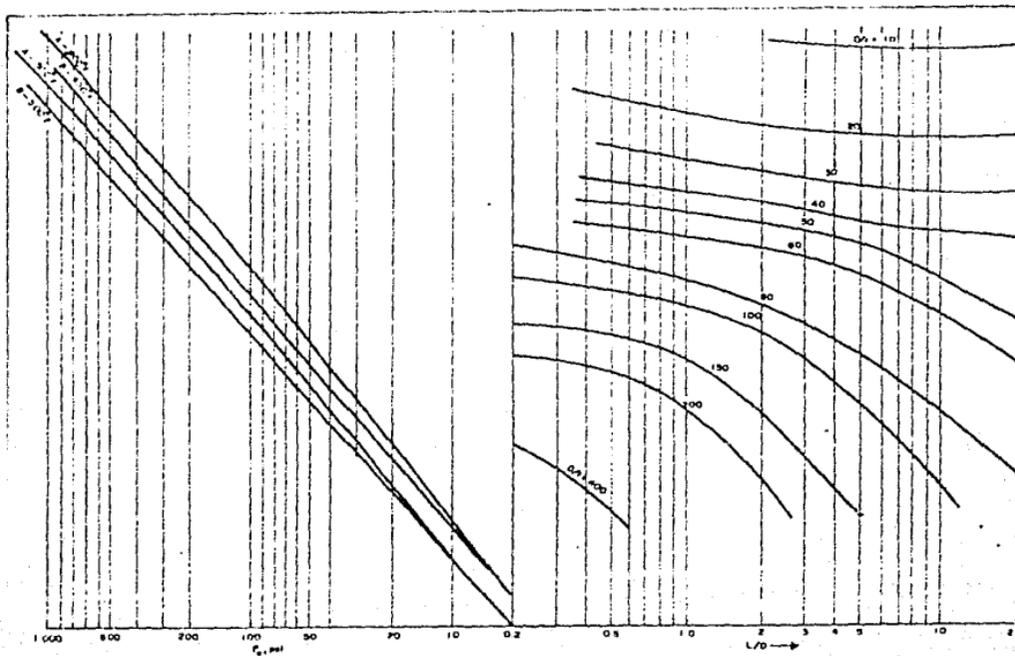


FIGURA 8. GRAFICA PARA RESOLVER PROBLEMAS RELACIONADOS CON CASCARONES Y TUBOS SUJETOS A PRESION EXTERNA CUANDO $D/t > 10$

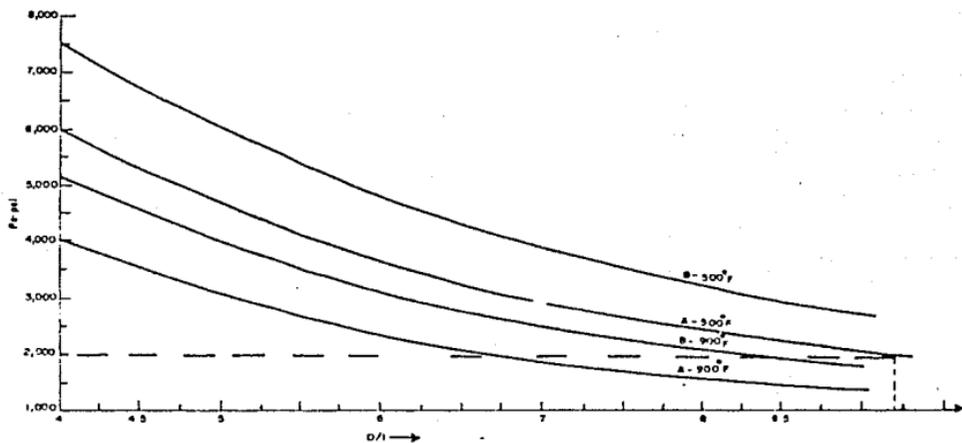


FIGURA. 7 GRAFICA PARA CASCARONES Y TUBOS SUJETOS A PRESION EXTERNA CUANDO $D/t < 10$

VI. GENERALIDADES SOBRE PRUEBAS MECANICAS APLICADAS A TUBERIAS.

6.1 GENERALIDADES SOBRE MATERIALES MAS UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA

Los materiales más utilizados en la Industria Petrolera - son:

Aceros al carbón

Aceros de baja aleación

Aceros inoxidables ferríticos

Para obtener la selección adecuada de un material para un determinado servicio, se requiere seguir las recomendaciones de códigos, estándares y especificaciones del material; además es necesario analizar los requerimientos del servicio, así como tendencias a fenómenos de corrosión, fatiga, exfoliación, etc.

Los códigos definen las pruebas mecánicas a las cuales se deben someter ciertos materiales con el fin de saber si - tales son útiles para una determinada aplicación.

Las pruebas mecánicas en general se dividen en dos y éstas son: pruebas destructivas y pruebas no destructivas.

Pruebas efectuadas a la tubería.

Hay pruebas que entrañan la destrucción de la parte sobre la que se realizan y de ahí que se conozcan como destructivas, pero hay otras donde su ejecución produce un daño mínimo o ninguno a la parte probada y por lo tanto se les llama no destructivas.

6.2 PRUEBAS DESTRUCTIVAS

Es importante que al seleccionar un material para aplicación específica y definida sobre una tubería se familiarice con algunas de las pruebas mecánicas que son aplicables a dichos materiales, con el objeto de que las propiedades mecánicas que poseen dichos materiales destinados a la -- construcción de tubería sean las necesarias y suficientes para el servicio o proceso requerido.

La capacidad de un material para soportar una carga estática puede estar dada o determinarse mediante una prueba de tensión o compresión. De las pruebas de dureza se deduce su resistencia a deformar permanentemente. De las de impacto se determina la tenacidad de un material a cargas de choque, cuando estas pruebas se hacen ante un intervalo de temperaturas pueden aprovecharse para determinar la existencia de cualquier transición de comportamiento dúctil o frágil en función de la temperatura. Las pruebas de fatiga miden el período de vida útil de un material sometido a cargas cíclicas; las de fluencia y ruptura bajo -- carga se efectúan para evaluar el comportamiento de un -- material sometido a una carga y una temperatura elevada -- por un período largo. Los resultados de éstas y otras -- pruebas más especificadas son a menudo de significado empírico más que fundamental, a pesar de ésto, son muy útiles para el diseñador o el fabricante.

6.2.1 Ensayo de tracción.

Esta prueba es una de las más aplicadas para determinar algunas características de los materiales en general.

La prueba se lleva a cabo mediante una máquina llamada universal, con la cual se aplican cargas axiales a una probeta, la figura 1 ilustra uno de los modelos que existen en el mercado.

La máquina básicamente consiste de un dispositivo mecánico o hidráulico que hace variar la distancia entre dos mordazas que sujetan la probeta, según lo indica la figura 2.

Este cambio en la distancia entre mordazas se traduce en un esfuerzo creciente sobre la probeta, -- cuenta generalmente con una carátula que va indicando la carga aplicada, además de un mecanismo -- graficador de la deformación de la probeta en función de esa carga.

La forma y dimensiones de la probeta deben cumplir con ciertos requisitos previstos por las normas -- respectivas de cada material con el propósito de -- obtener repetitibilidad en los resultados, con este mismo fin se limita la velocidad de desplazamiento de las mordazas a un valor cercano a 1 cm. por minuto.

En la prueba normal, ésta termina cuando la probeta se fractura a esfuerzo de tracción creciente, -- después de lo cual sólo resta evaluar los resultados al relacionar los esfuerzos contra las deformaciones, ya sea a partir de la gráfica obtenida por la misma máquina o de los valores recabados durante la prueba por algún otro medio.

Los aspectos que pueden determinarse son los siguientes:

a) Límite elástico

En algunos materiales al iniciar la prueba y hasta cierto nivel de carga, la gráfica es una línea recta que indica que los alargamientos sufridos son proporcionales a las cargas, o sea que en ese espacio se sigue la Ley de Hooke.

$$e = \frac{1}{E} S$$

Donde:

E = Módulo de Young

e = Deformación

S = Esfuerzo

En este lapso el material se comporta elásticamente por lo que las deformaciones desaparecen al quitar las cargas que las producen. Una forma de comprobarlo es aplicar una carga pequeña y quitarla, después de lo cual se puede comprobar que la probeta recobra sus dimensiones originales, así si se repite la operación con cargas crecientes, se llegará a una carga a partir de la cual las deformaciones son permanentes y se inicia la zona plástica, la carga máxima -- que al dejar de actuar no produce deformaciones permanentes en el material dividida entre el área original de la probeta es el límite -- elástico.

Este valor es de gran interés, pues sirve de base a muchas consideraciones de ingeniería de materiales.

En la gráfica este punto queda representado -- por un cambio en la pendiente de la curva como se muestra en la figura J.

b) Resistencia a la tracción

Después del límite elástico, la gráfica muestra un continuo ascenso en las cargas soportadas, aunque con deformaciones mayores hasta que alcanza un máximo y luego se producen deformaciones con una disminución de carga. La carga máxima dividida entre el área original es la resistencia a la tracción, que es el esfuerzo máximo soportado por el material.

c) Alargamiento

Este valor es otro aspecto de gran importancia que se obtiene del ensayo de tracción, pues es un índice de la ductilidad del material.

6.2.2 Pruebas de dureza

La dureza es una propiedad difícil de definir, ya que en realidad no es una característica fundamental de los materiales y la forma en que se mida -- sólo arrojará valores relativos que permiten comparar a los diferentes materiales medidos con el mismo método.

Para medir la dureza en los metales existen varios métodos, pero los más empleados lo hacen considerando la resistencia que presentan estos materiales

al ser penetrados o marcados por otro. En general estos procedimientos consisten en aplicar un penetrador que actúe sobre el material a probar - bajo una carga definida y constante.

Los métodos más utilizados en los metales son: -- Rockwell, Brinell y Vickers.

La diferencia entre estos métodos está en la forma del penetrador y la cantidad de la carga, sin embargo los valores de dureza de una escala a otra no guardan ninguna correspondencia de tipo matemático, por lo que para encontrar una equivalencia aproximada es necesario recurrir a tablas o gráficas preparadas para el efecto, con la particularidad de que sólo éstas son válidas para ciertos materiales específicos. También es importante señalar que la resistencia a la tracción tienen cierta relación con la dureza y de ahí que existan -- tablas que relacionan estos valores.

a) Dureza Rockwell

Este ensayo es el que nosotros usamos en base a su rapidez y por requerimiento de las normas (Rockwell escala B).

Los penetradores más usados por este método -- son: bola de acero de 1/16" de diámetro y un cono de diamante con un ángulo de 120°, las -- cargas son de 60, 100 ó 150 Kg. y según se -- combinen cargas y penetradores se tienen diferentes escalas para la lectura.

Como se trata de medir la dureza de espesores

delgados, se puede emplear una máquina similar que usa cargas más pequeñas y por lo tanto las huellas son de menor profundidad, en este caso se llama Rockwell superficial, las cargas son 15, 30 ó 45 Kgs. y las escalas Ton. según se use la bola o el cono de diamante.

6.2.3 Aplastamiento

La prueba se hace en una máquina universal (fig. 1) sólo que operada para que trabaje a compresión.

Esta prueba se realiza en dos etapas:

Primera Etapa.- Prueba de ductilidad

Se utiliza una muestra de tubo de 4 pulg., la cual se somete a un aplastamiento entre dos placas para las colocando el cordón de soldadura a 90° de la dirección de la fuerza aplicada, hasta que la separación entre las placas sea menor a la obtenida en la fórmula.

$$H = \frac{(1 - 0.09) t}{0.09 + t/D}$$

En donde:

H = Separación entre placas

t = Espesor de pared del tubo

D = Diámetro exterior del tubo

Constante 0.09 = Deformación por unidad de longitud para aceros inoxidables austeníticos.

En esta etapa no deben de aparecer grietas en el -
cordón de soldadura o en el material base.

Segunda Etapa.- Prueba de soldadura

La muestra se coloca nuevamente entre las placas -
y éstas se continúan cerrando hasta que las pare--
des del tubo se junten. La muestra se saca y se ob-
serva que no existan grietas o soldadura incomple-
ta.

6.2.4 Doble reversible

Se utiliza una muestra de tubo de 4 pulg. cortando
longitudinalmente a 90° a cada lado de la soldadu-
ra se abre y se aplasta con la soldadura en el pun-
to de máxima flexión.

No debe de haber grietas o falta de penetración de
la soldadura.

6.2.5 Abocinado

Se coloca la muestra de tubo de 4 pulg. de longi-
tud haciendo uso de la máquina universal o de una
prensa y con una herramienta de 60°, se expande el
diámetro interior hasta alcanzar el porcentaje de
crito en la tabla correspondiente, sin que se ob-
serven grietas en el tubo.

6.2.6 Pestañado

Es similar a la prueba de abocinado únicamente se

lleva la muestra hasta formar una ceja perpendicular al eje del tubo, el ancho específico de la ceja debe alcanzarse sin que la probeta sufra fracturas.

El cálculo para el ancho de la pestaña será:

15% mínimo del diámetro exterior para todos los tamaños.

DIAMETRO EXTERIOR

$\frac{1}{4}$ (0.250)

ANCHO MINIMO DE LA PESTAÑA

(pulgadas)

0.037

DIAMETRO EXTERIOR DEL TUBO

(pulgadas)

Hasta		1
1	a	1½
1½	a	2
2	a	3
3	a	4
4	a	5
5	ó	más

La presión debe sostenerse el tiempo necesario para inspeccionar la longitud total de la soldadura, con el fin de verificar que no exista fuga alguna.

6.2.7 Hidrostática

Cada tubo terminado deberá de someterse a una presión interna (con agua) que será de acuerdo al cálculo de la siguiente fórmula:

$$P = 32000 \text{ t/D}$$

En donde:

P = Presión de prueba, lb/pulg. 2

t = Espesor de pared, pulg.

D = Diámetro del tubo, pulg.

Constante 32000 = Esfuerzo permisible 16000 Psi x 2

La presión de prueba no deberá de excederse de los valores anotados en la tabla siguiente:

PRESION DE PRUEBA

(libra/pulg²)

1000

1500

2000

3500

4500

6.2.8 Neumática

Como confirmación de la prueba hidrostática, puede efectuarse la prueba neumática que consiste en probar el tubo con aire a una presión interna de 150 - Psi.

La tubería es sumergida en un tanque con agua y se mantiene ahí hasta que la superficie del agua se ha aclarado, es entonces cuando cualquier fuga puede ser detectada.

6.3 PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

Son estas pruebas las que más comúnmente se utilizan en tu

berías para detectar todo tipo de fallas; dado su carácter no destructivo permiten la detección de dichas fallas, al no afectar las tuberías a las que se apliquen dichas pruebas, dentro de estas pruebas encontramos las siguientes:

Corrientes Parásitas.- Se caracteriza dicha prueba porque detecta la variación de los espesores en materiales delgados, detección de grietas longitudinales en tuberías. Radiografiado (Rayos X), esencialmente detecta fallas internas como grietas, porosidades, espesores, etc.; los rayos gama también detectan fallas internas como roturas, defectos de soldadura, etc. Otro tipo de pruebas no destructivas pueden ser la prueba efectuada con líquidos penetrantes y partículas magnéticas; dichas pruebas tienen como función principal detectar fallas superficiales, discontinuidades, grietas, porosidades y ultrasonido que también tiene como finalidad detectar defectos internos, porosidades, así como diferencias en espesores de tubos hechos de placa.

Como podemos observar la finalidad de la mayoría de estas pruebas es la de detectar fallas, mismas que muy frecuentemente encontramos en los sistemas de tuberías en plantas de refinación o en otro tipo de plantas, por lo cual es conveniente conocerlas, ya que son de gran ayuda al diseñar o verificar la tubería y en especial los espesores de éstas.

En la industria las pruebas no destructivas tienen un campo bien definido de aplicación, ya que si bien permite el examen del 100% del material, se encuentra que cada método tiene ciertas limitaciones propias además de las generales entre las que se pueden mencionar:

- a) No sirven para medir directamente las propiedades mecánicas.

- b) Sus resultados precisan de una buena interpretación -- hecha por personal muy especializado.

De los varios métodos de prueba no destructiva, hay dos -- que se aplican rutinariamente en la fabricación de artículos de acero inoxidable.

- Ultrasonido
- Corrientes circulares

6.3.1 Corrientes circulares

Este método se basa en la facultad de producir corrientes inducidas en los tubos cuando están bajo -- la acción de un campo magnético (creado por bobinas).

La intensidad de la corriente circulante y su propagación dependen del acoplamiento entre las bobinas y el tubo de la conductividad y de la permeabilidad, -- así como de los posibles defectos de la tubería, tales como: grietas, abolladuras, poros, rebabas, falta de penetración en la soldadura, etc., que se encuentran en el paso de las corrientes circulares.

Para descubrir estas fallas se usan dos embobinados en conexión diferencial que detectan al mismo tiempo dos partes distintas del tubo y comparan el material de dichas partes.

Esta señal es registrada por un sistema electrónico y amplificada en una pantalla (osciloscopio) en las que se muestran visualmente las variaciones (picos) que sobrepasan el nivel de calibración de fallas -- puesto con anterioridad.

Los tubos a probarse por este método son generalmente hasta de 4.5 pulg. (115 mm) de diámetro exterior y 0.203 pulg. (5 mm) máximo de espesor de pared.

Ventajas de la prueba.

La prueba por corrientes circulares se caracteriza por su alta sensibilidad a los defectos y a la ausencia total de contacto físico con el tubo.

Se descubren con gran facilidad las fallas superficiales. La experiencia nos muestra que pueden detectarse fallas que se presenten en un 12% del espesor de pared.

Es claro que existen otra gran variedad de pruebas tanto destructivas que pueden ser aplicables al acero inoxidable para medir sus diferentes propiedades, pero se ha concretado al análisis de las pruebas -- que son mandatorias por las normas de fabricación -- empleadas.

Entre ellas se pueden mencionar:

- Pruebas de termofluencia (creep) para medir básicamente la deformación en caliente.
- Prueba de fatiga que mide la capacidad para soportar esfuerzos cíclicos.
- Prueba de impacto para medir la fragilidad del material.
- Observación metalográfica como medio para detec-

tar fases indeseables.

- Pruebas de conductividad térmica.
- Pruebas de corrosión.
- Pruebas con líquidos penetrantes para detectar defectos superficiales.
- Examen radiográfico para detectar defectos internos.

Y otras muchas pruebas que son diferentes variedades y son de gran ayuda para aplicaciones específicas.

6.3.2 Pruebas metalográficas

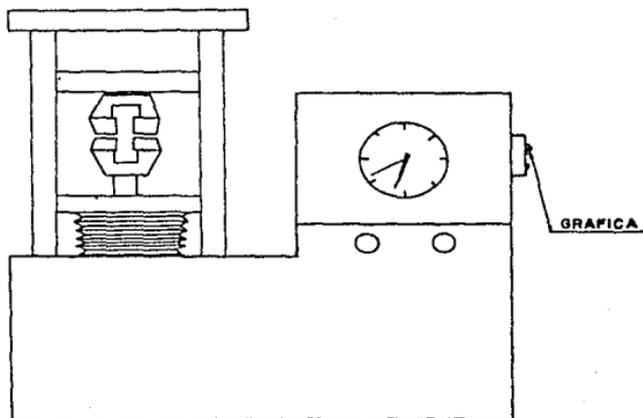
1.1 Tamaño de grano.

El tamaño de grano es un impacto metalúrgico de gran importancia debido a que su efecto se deja sentir en algunas propiedades mecánicas del material, tales como: la resistencia al límite elástico, la ductilidad, comportamiento en caliente, aspecto de la superficie dejada por el trabajo en frío, etc. Este efecto en términos generales es positivo entre más pequeño es el grano y de ahí la importancia de su control.

La medición del tamaño de grano se hace por observación directa de la microestructura con la ayuda del microscopio metalúrgica, esto implica que debe hacerse una preparación previa de

la probeta (pedazo de material). La preparación incluye un pulido en una serie de paso con lija cada vez más fina hasta llegar a un abrasi-vo en suspensión que deja un acabado espejo y finalmente mediante un ataque químico se revela la estructura.

Para realizar la medición se acostumbra hacerlo por comparación de la estructura contrapa- trones, ya sea directamente en el microscopio mediante oculares que sobreimponen el patrón a la estructura que se está observando, o bien sacando una fotografía a 75 aumentos y compa- rándola contra una carta que presenta los tama- ños normalizados.



MAQUINA UNIVERSAL

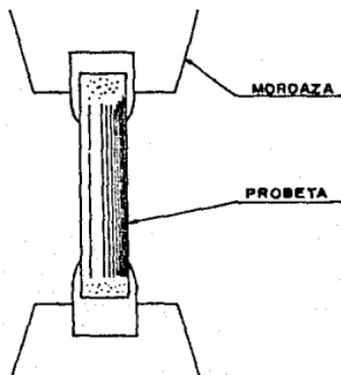
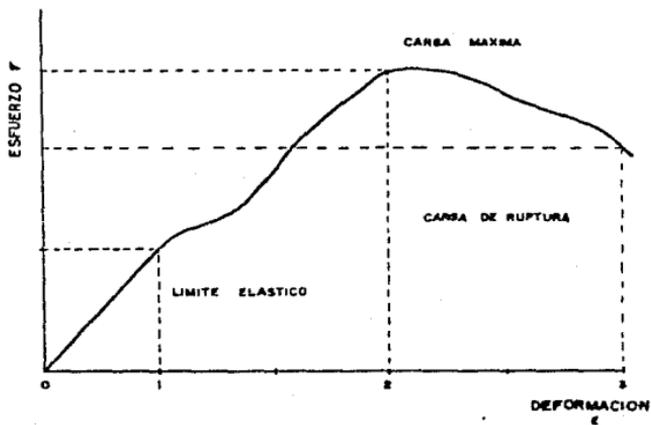
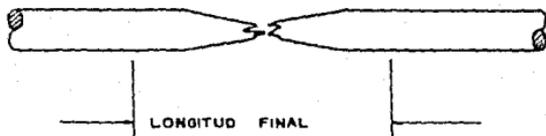
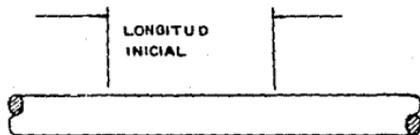


FIG. 2



- 0 - 1 DEFORMACION ELASTICA
- 1 - 2 DEFORMACION PLASTICA UNIFORME
- 2 - 3 DEFORMACION PLASTICA NO UNIFORME
- 0 - 3 DEFORMACION TOTAL

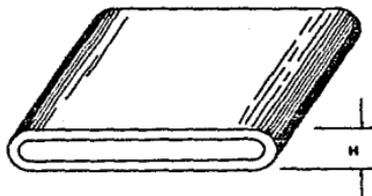


$$\frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100 = \% \text{ ALARGAMENTO}$$

L₀ = LONGITUD INICIAL

L₁ = LONGITUD FINAL

FIG. 4



1ª ETAPA



2ª ETAPA

$$H = \frac{(1 - 0,09)l}{0,09 \cdot l/D}$$

APLASTAMIENTO



RELACION DEL DIAMETRO
INTERIOR SOBRE EXTERIOR

0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3



EXPANCIÓN MINIMA DEL
DIAMETRO INTERIOR EN %

2.1
2.2
2.5
3.0
3.9
5.1
6.8

VII. CALCULO DE ESPESOR DE PARED DE TUBERIAS DE TRANSPORTE.

7.1 SISTEMAS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS LIQUIDOS

Estas serán las tuberías que se designen a la conducción de petróleo crudo, gasolina natural, gases licuados y productos líquidos derivados de la destilación del petróleo, comúnmente usados como combustibles o como materias primas para la fabricación de los mismos, estas tuberías estarán de acuerdo con la edición más reciente del código ANSI B-31.4.

7.2 SISTEMAS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS GASEOSOS

Estas tuberías se designarán a la conducción de productos en estado gaseoso, tales como: gas natural derivado de la extracción o gases obtenidos del tratamiento o destilación del petróleo, cuyo uso común será su empleo como combustible. Dichas tuberías estarán de acuerdo con la edición más reciente del código ANSI B-31.8.

7.3 SISTEMAS DE TRANSPORTE PARA PRODUCTOS QUIMICOS Y PETROQUIMICOS

Serán las tuberías destinadas al transporte de productos químicos o petroquímicos, ya sea en estado líquido o gaseoso obtenidos a partir del petróleo. Para el diseño se deberán tomar en cuenta entre otras, las siguientes características del producto:

- a) Inflamabilidad
- b) Toxicidad

- c) Capacidad para sufrir polimerización espontánea con -- desprendimiento de calor y en forma violenta
- d) Capacidad para detonar
- e) Reactividad con el agua
- f) Carácter oxidante

Para el diseño, además de las referencias técnicas se deberá considerar la opinión de los diseñadores de la planta que elaboren el producto en cuestión.

7.4 CALCULO DE ESPESOR PARA SISTEMAS DE TRANSPORTE DE HIDRO-- CARBUROS LIQUIDOS

El espesor mínimo necesario de la pared de un tubo sometido exclusivamente a presión interna, se calculará en la fórmula siguiente:

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

En donde:

t = Espesor de pared mínimo de un tubo sometido exclusivamente a presión interna (pulg.)

P = Presión de diseño (Lb/in²) debe ser mayor o igual a la presión máxima de operación en condiciones estables y ésta a su vez debe ser mayor a 1.06 Kg/cm² (15Lb/in²)

D = Diámetro nominal exterior (pulg.)

S = Esfuerzo de trabajo máximo permisible (Lb/in²)

El valor de esfuerzo a la tensión más grande a que puede someterse un material considerando su resistencia, es la eficiencia de soldadura y las tolerancias de especificación sin que sufra deformaciones permanentes, este valor se manejará en la ecuación de diseño por presión interna y se calculará de la manera siguiente:

$$S = F \times E \times R$$

Donde:

S = Esfuerzo de trabajo máximo permisible (Lb/in²).

F = 0.72 (adimensional) y es un factor de diseño basado en el espesor nominal de la pared; al establecer este factor, se han considerado y tomado en cuenta las diferentes deficiencias de espesor y las tolerancias de defectos estipuladas en las especificaciones aprobadas por el código.

E = Eficiencia (adimensional) de junta soldada de acuerdo con la tabla 7.1, correspondiente a la tabla 402.4.3 del código ANSI B-31.4.

R = Es la resistencia mínima especificada a la cedencia (Lb/in²), de acuerdo con la tabla 402.3.1 y 4.23.1 -- del código ANSI B-31.4 para materiales nuevos de especificación conocida y aprobada; en el caso de materiales usados de especificación conocida y aprobada o de materiales nuevos o usados de especificación desconocida, se asignará el valor R de acuerdo a:

- Tubería nueva de especificación conocida de la tabla 402.3.1 de la última edición del código ANSI B-31.4.

- Tubos usados de especificación conocida excepto -- ASTM A120 de la misma tabla y código, y si satisfice la prueba para calificación de materiales que - consiste en:

PRUEBA 1.- Prueba Visual. Consiste en revisar cada uno de los tramos y accesorios antes y durante la construcción, para asegurar que se encuentran limpios de defectos o daños mecánicos originados durante su embarque, manejo, instalación anterior, - etc., con el siguiente criterio:

- a) La revisión incluirá superficies interior y -- exterior, biseles, soldaduras, recubrimientos, alineación, etc.
- b) Se considerarán defectos a aquellas anomalías que disminuyan la resistencia o hermeticidad - de la pieza inspeccionada, tales como: pandeo, aplastamiento, doblez, picadura, grieta, defor^omación, quemadura, laminación, socabado, abo-lladura, junta longitudinal o espiral deficien^ote, etc.
- c) Los defectos deberán eliminarse totalmente --- para considerar que la pieza se encuentra en - buenas condiciones.

PRUEBA 2.- Doblado. Consisten en aplicar con resul^otados satisfactorios los métodos y procedimientos siguientes:

- a) ASTM A53 o API 5L, 5LS, 5LU ó 5LX para tubos - con diámetro mayor de 50.8 mm (2"), inclusive

PRUEBA 3.- Espesor. Consiste en determinar el espesor de pared nominal de un lote de tubos de acuerdo al procedimiento siguiente:

a) Mediciones.

a.1 En tubos usados deberá medirse en cada -- pieza y en ambos extremos, el espesor de pared en los cuatro cuadrantes mediante -- un calibrador de exactitud conocida.

a.2 En tubos nuevos cuyo espesor y diámetro -- sea uniforme, el espesor de pared deberá medirse en la misma forma que se establece en el punto anterior; en el 5% de los tramos de tubo sin exceder de 10 piezas. Los tramos restantes del lote, deberán -- medirse con un calibrador mecánico en posición fija.

b) Espesor nominal.

b.1 Deberá considerarse como espesor nominal del lote probado al espesor nominal inmediato inferior al cálculo como promedio aritmético de todas las mediciones. El espesor calculado como promedio aritmético de todas las mediciones no deberá exceder de 14%, el mínimo encontrado en el caso -- de diámetros menores a 50.8 mm. (2.0 pulg) o en 11% el mínimo encontrado en diámetros iguales o mayores a 50.8 cm. (2.0 pulg.).

Espesor mínimo requerido.- Es el valor -- calculado con la fórmula señalada anterior

mente, incrementándose con las tolerancias obtenidas del análisis y evaluación de -- los factores mencionados anteriormente, -- así como:

1. Cargas adicionales.

Esto en el diseño de tuberías, deberán considerarse las cargas que puedan -- preverse, actuarán sobre la tubería de acuerdo con las características de las regiones que atraviesa y las condi ciones de trabajo, tales como:

a. Cargas extremas causadas por condi ciones de operación.

b. Carga de viento, además de las re-
lativas a expansión y flexibilidad
en tuberías suspendidas o aéreas --
para tuberías aéreas o no soporta-
das continuamente, así como los --
factores aplicables que se mencio-
nan, deberán considerarse: cargas
vivas como lo son el peso del pro-
ducto transportado, la nieve, el --
hielo, etc. y cargas muertas como
lo son el peso propio de la tube-
ría, recubrimientos, rellenos, vál
vulas y otros accesorios no sopor-
tados:

- Sismos

- Vibración y resonancia causada -

por vibración.

- Esfuerzos causados por asentamientos o derrumbes en regiones de suelos inestables.
- Efectos de contracción y expansión térmica cuando la diferencial de temperatura es mayor a 30°C (86°F)
- Efectos de los movimientos relativos de los componentes o accesorios conectados.
- Esfuerzos debidos a cambios de nivel o dirección.
- Esfuerzos por golpe de ariete.
- Esfuerzos por cruces de rfo.
- Esfuerzos por oleajes y corrientes marítimas.

c. Tolerancia y variaciones permisibles en especificaciones y condiciones de operación.

d. Factor de seguridad por eficiencia de junta (E), además deberá determinarse la clase de localización para cumplir con lo establecido en válvulas de seccionamiento y calidad de soldadura.

- c. Espesor adicional por desgaste o --
margen de corrosión.

Dicho espesor nunca será menor al -
indicado en la tabla 7.2 que corres-
ponde a la tabla 404.1.1 del código
ANSI B-31.4 y que aparece al final
de este capítulo.

El espesor mínimo requerido en una
tubería conectada a un equipo u ---
otra tubería que opere con diferen-
te presión, deberá calcularse con -
la presión de diseño mayor que se -
tenga.

- b.2 El espesor mínimo asignado, deberá ser ma
yor o igual al espesor mínimo requerido -
a D, E, F y G, descrito más adelante.

PRUEBA 4.- Eficiencia de junta longitudinal o espi
ral. Consiste en asignar un valor a la eficiencia
de la soldadura E, de acuerdo al siguiente crite--
rio.

- a) Si el tipo de junta es conocido, el valor de E
para la fórmula de diseño es el indicado por -
la tabla 2.1.
- b) Si el tipo de junta se desconoce, el valor de
E para la fórmula de diseño será como máximo o
igual a 0.6. Para diámetros menores o iguales
a 10.16 cm. (4 pulg.) o hasta 0.8 para diáme--
tros mayores.

c) Tubos nuevos o usados de especificación desconocida o ASTM A120 de cualquiera de los procedimientos que se describen a continuación:

1. El menor de los valores siguientes:

1.1 El 80% del promedio aritmético de los resultados obtenidos en las pruebas de tensión.

1.2 El más bajo obtenido en las pruebas de -- tensión descritas sin exceder de 3662 --- Kg/cm^2 (52 Lb/in^2).

1.3 1690 Kg/cm^2 (24000 Lb/in^2) si la relación entre promedio de resistencia a la cedencia y resistencia a la tensión excede de 0.85.

2. De 1690 Kg/cm^2 (24000 Lb/in^2) si no se -- llevan a cabo las pruebas descritas de do**blado** y cedencia.

Margen de corrosión.- El espesor adicional como margen de corrosión se determinará en función de la experiencia que se tenga en el manejo de los productos y de la eficiencia de los sistemas de prevención o control que se adopten, considerando una vida útil de la tubería de por lo menos 10 años.

El margen de corrosión cuando se carezca de antecedentes, deberá ser mayor o igual a 2.54 mm (0.100 pulg.)

7.5 CALCULO DE ESPESOR PARA SISTEMAS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS GASEOSOS.

7.5.1 El diseño de tuberías para transporte de hidrocarburos gaseosos, deberá considerar entre otros los aspectos siguientes:

1. Características físicas y químicas del fluido.
2. Presión y temperatura máximas de operación.
3. Especificaciones del material seleccionado de acuerdo con los materiales de construcción.
4. Cargas adicionales externas que puedan prevverse como consecuencia de las condiciones de trabajo de la característica de las regiones que atraviesa, tales como:
 - a) Cargas externas impuestas por condiciones de operación.
 - b) Carga de viento además de las relativas a expansión y flexibilidad en tuberías suspendidas o aéreas.

Para tuberías aéreas o no soportadas, continuamente además de los factores aplicables que se mencionan en este inciso, deberán -- considerarse cargas vivas como son: el peso del producto transportado, la nieve de hielo, etc., y cargas muertas como lo son: el propio peso de la tubería, recubrimientos, rellenos, válvulas y otros accesorios no soportados.

- c) Sismos.
 - d) Vibración y resonancia causada por vibra---
ción.
 - e) Esfuerzos causados por asentamientos o de---
rumbes en regiones de suelos inestables.
 - f) Efectos de la contracción y expansión térmi---
cas cuando la diferencial de temperaturas -
sea mayor de 30°C (86°F).
 - g) Efectos del movimiento de tubos y accesorios
conectados.
 - h) Esfuerzos debidos a cambios de nivel o di---
rección.
 - i) Esfuerzos en cruces de caminos, ríos, etc.
 - j) Esfuerzos por oleajes y corrientes maríti---
mas.
5. Tolerancias y variaciones permisibles en espe---
cificaciones y condiciones de operación.
 6. Factores de seguridad por densidad de población
y por eficiencia de junta.
 7. Espesores adicionales por desgaste o margen de
corrosión.

7.5.2 Presión máxima de operación.- Es la presión máxima
en cualquier punto de la tubería que puede desarro---
llarse operando el ducto al 100% de su capacidad -
en condiciones de flujo regular uniforme y constan---

te, y teniendo en cuenta la presión requerida para compensar las pérdidas por fricción.

7.5.3 Presión de diseño.- Es el valor de presión (P) usado en la fórmula de diseño indicada en los puntos siguientes, la cual deberá ser mayor o igual a la presión máxima de operación en condiciones estables.

7.5.4 Temperatura de diseño.- Es la temperatura tomada como referencia para fijar el valor de "T" (factor de diseño por temperatura en la fórmula del inciso siguiente), la cual deberá ser mayor o igual a la temperatura máxima de operación en condiciones estables.

7.5.5 El espesor mínimo necesario de la pared de un tubo sometido exclusivamente a presión interna, se calculará con la fórmula siguiente:

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

En donde:

t = Espesor de pared mínimo de un tubo, sometido exclusivamente a presión interna (pulg.).

P = Presión de diseño (Lb/pulg.²) de acuerdo con lo descrito anteriormente en 7.5.3.

D = Diámetro nominal exterior (pulg.).

S = Resistencia mínima especificada a la cedencia (Lb/pulg.²) de acuerdo con el apéndice "C" del código ANSI B-31.8 para tubos y accesorios nue

vos de especificación conocida y aprobada; en el caso de tubos y accesorios usados de especificación conocida y aprobada o de tubos y accesorios nuevos o usados de especificación desconocida, se asignará el valor de "S" de acuerdo a:

7.5.5.1 Tubos. El valor de resistencia mínima especificada a la cedencia aplicable en la fórmula de diseño señalada en el inciso anterior, se obtendrá de la siguiente manera:

- a. Tubería nueva de especificación conocida del apéndice "C" de la última edición del código ANSI B31.8.
- b. Tubos usados de especificación conocida y aprobada, excepto ASTM A 120 del apéndice "C" de la última edición del código ANSI B31.8, si satisface los requisitos de prueba (visual, espesor y eficiencia de junta longitudinal).
- c. Tubos nuevos usados de especificación desconocida o ASTM A 120 con cualquiera de los procedimientos que a continuación se describen:
 - El menor de los valores siguientes.

El 80% del promedio aritmético

de los resultados obtenidos en las pruebas de cedencia, las cuales consisten en determinar el comportamiento, esfuerzo -- aplicado, deformación en un -- lote de tubos sometidos a tensión, de acuerdo con los procedimientos establecidos en la especificación API SLX, el número de pruebas será el indicado en la tabla 3.7 en especímenes seleccionadas al azar.

El más bajo obtenido en las -- pruebas de cedencia señaladas en el punto anterior $3662 \text{ Kg/cm}^2 = (52000 \text{ Lb/pulg.}^2)$.

- De 1690 Kg/cm^2 (24,000) (Lb--pulg.²) como máximo, si no se realizan las pruebas de doblado que consisten en aplicar -- los procedimientos siguientes:

Para tubos con diámetro nominal menor o igual a 5.08 cm (2 pulg), se deberá doblar en frío y a 90° un tramo con longitud suficiente en un nominal cilíndrico cuyo diámetro sea 12 veces igual que el nominal del tubo. El resultado se considerará satisfactorio cuando no se produzcan grietas en el tubo ni en su soldadura.

- Para tubos de diámetro mayor a 5.08 cm. (2 pulg.), se deberán aplicar las pruebas indicadas en el estandar ASTM A 53 relativas a aplastamiento, el número de pruebas será el indicado en la tabla 3.7.
- Propiedades a la tensión y a la cedencia. Consiste en determinar el comportamiento esfuerzo aplicado, deformación en un lote de tubos sometidos a tensión de acuerdo con los procedimientos establecidos en la especificación API SLX, el número de pruebas será el indicado en la tabla 3.7 en especímenes seleccionados al azar.
- Los tubos no deben emplearse cuando la relación entre promedio de resistencia a la cedencia y resistencia a la tensión exceda de 0.85, excepto en condiciones de bajo esfuerzo siempre y cuando no se utilicen para construir curvas cerradas.

$$ST = 2D/2t$$

- En donde la presión (P) es la única variable, ya que en el diámetro nominal exterior (D)

y el espesor nominal (t) son - valores conocidos.

F = Factor de diseño (adimen--sional) basado en densidad de población, de acuerdo - con la tabla 3.1 que aparece al final de este capítulo.

E = Eficiencia (adimensional) de junta sodada longitudinal, de acuerdo con la tabla 3.2 que aparece al final de este capítulo y corresponde a la tabla 841.112 del código ANSI B 31.8.

T = Factor de diseño (adimen--sional) basado en la temperatura de diseño, de acuerdo con la tabla 3.3 que -- aparece al final de este - capítulo y corresponde a - la tabla 841.113 del código ANSI B 31.8.

Para calcular la presión de diseño en función del espesor -- nominal de pared de un tubo, - deberá aplicarse la fórmula indicada en el inciso referente al espesor mínimo necesario -- expresada en la fórmula siguiente:

$$P = \frac{2St}{D} = .(F).(E).(T)$$

- El valor de la resistencia mínima especificada a la cedencia aplicable en las fórmulas indicadas en el inciso referente al espesor mínimo necesario, deberá reducirse por lo menos en un 25% cuando se trate de un tubo que después de trabajo en frío es calentado a 315.5°C (600°F) o más por un medio distinto a la soldadura.

7.5.6 Espesor mínimo requerido.- Es el espesor de pared de un tubo calculado con la fórmula indicada en el punto 7.5.5 e incrementado con las tolerancias y asignaciones mecánicas obtenidas del análisis y evaluación de los factores señalados en los párrafos D, E, F, G del inciso referente a diseño, el cual no deberá ser mayor que el mostrado en la tabla 3.4 (equivalente a la tabla 841.124 del código ANSI B 31.8) que aparece al final de este capítulo.

7.5.7 Espesor nominal.- Se considerará espesor nominal de un tubo al igual o inmediato superior que se fabrique y que satisfaga los requisitos de espesor mínimo requerido, el cual no deberá reducirse en ningún punto en más de un 10% con motivo de su transporte, almacenamiento, manejo, instalación o reparación.

El espesor mínimo requerido en una tubería conecta da a un equipo u otra tubería que opere con diferente presión, deberá calcularse con la presión de diseño mayor que se tenga.

- 7.5.8 Margen de corrosión.- El espesor adicional como -- margen de corrosión, se determinará en función a -- la experiencia que se tenga en el manejo de los -- productos y de la eficiencia los sistemas de pre-- vención o control que se adopten, considerando una vida útil de la tubería de por lo menos 10 años.

El margen de corrosión deberá ser mayor o igual a 0.100 pulg., de acuerdo con lo establecido en la - NSPM A VII-4.

Prevención de la corrosión en tuberías destinadas al transporte de gas natural hidratado con o sin -- gases ácidos.

7.6 CALCULO DE ESPEOSR PARA SISTEMAS DE TRANSPORTE DE PRODUCTOS QUIMICOS Y PETROQUIMICOS.

El diseño de tuberías para transporte de productos petro-- químicos, deberá considerar entre otros los siguientes as-- pectos:

1. Toxicidad, reactividad e inflamabilidad del producto.
2. Fase o estado físico.
3. Presión y temperatura máximas de operación en condicio-- nes establecidas.

4. Cargas adicionales en el diseño de tuberías, deberán -- considerarse las cargas que puedan preverse, actuarán sobre la tubería de acuerdo con las características que las regiones que atravieza y las condiciones de trabajo tales como:
- a) Cargas externas impuestas por condiciones de operación.
 - b) Carga de viento, además de las relativas a expansión y flexibilidad en tuberías suspendidas o aéreas.
 - c) Sismos.
 - d) Vibración y resonancia causada por vibración.
 - e) Esfuerzos causados por asentamientos o derrumbes en regiones de suelos inestables.
 - f) Efectos de la contracción y expansión térmicas, cuando la diferencial de temperaturas sea mayor de 30°C (86°F).
 - g) Efectos del movimiento de tubos y accesorios conectados.
 - h) Esfuerzos debidos a cambios de nivel o dirección.
 - i) Esfuerzos por golpe de ariete.
 - j) Esfuerzos en cruces de caminos, ríos, etc.
 - k) Esfuerzos por oleajes y corrientes marítimas.
5. Tolerancias y variaciones permisibles en especificación

nes de materiales y en condiciones de operación.

6. Factores de diseño por densidad de población.

7. Espesor adicional por desgaste o margen de corrosión.

7.6.1 Presión máxima de operación.- Es la presión máxima en cualquier punto de la tubería que puede desarrollarse operando el ducto al 100% de su capacidad - en condiciones de flujo regular, uniforme y constante, teniendo en cuenta la presión requerida --- para compensar las pérdidas por fricción y la columna estática en el punto considerado.

7.6.2 Presión de diseño.- Es el valor de presión (P) en la fórmula de diseño indicada posteriormente, el - cual deberá ser igual o mayor a la presión máxima de operación en condiciones estables.

7.6.3 Temperatura de diseño.- Es la temperatura tomada - como referencia para determinar la resistencia del material y el esfuerzo permisible de la tensión y deberá ser igual o mayor a la temperatura máxima - de operación en condiciones estables.

7.6.4 Esfuerzo de trabajo máximo permisible.- Es el valor de esfuerzo a la tensión más grande a que puede someterse un material considerando el esfuerzo permisible a la tensión del material, la eficiencia de su soldadura, la densidad de población y el estado físico y características del producto que - se transportará sin el riesgo de que sufra deformaciones permanentes. Este valor se manejará en la -

fórmula de diseño por presión interna y se calcula
rá de la siguiente manera:

$$S^* = \text{Esfuerzo de trabajo máximo permisible} \\ (\text{Lb/pulg.}^2)$$

$$S^* = (F_1) \cdot (F_2) \cdot (F_3) \cdot (F_4) (F_5) (S)$$

Donde:

F_1 = Factor de diseño (adimensional) por densidad
de población, de acuerdo con la tabla 4.1. --
que aparece al final de este capítulo.

F_2 = Factor de diseño (adimensional) por grado de
toxicidad, de acuerdo con la tabla 4.2 que --
aparece al final de este capítulo y la clasi-
ficación anexa a dicha tabla.

F_3 = Factor de diseño (adimensional) por grado de
inflamabilidad, de acuerdo con la tabla 4.2 -
mencionada anteriormente.

F_4 = Factor de diseño (adimensional) por grado de
reactividad, de acuerdo a la tabla 4.2 que --
aparece al final del capítulo y la clasifica-
ción anexa a dicha tabla.

F_5 = Factor de diseño (adimensional) basado en el
estado físico del producto, de acuerdo a la -
tabla 4.3 que aparece al final de este capítu
lo.

S = Esfuerzo permisible a la tensión (Lb/pulg.²)

considerando la eficiencia de soldadura, de acuerdo con el apéndice A del código ANSI --- B 31.3 para tubos y accesorios nuevos de especificación conocida, se asignará el valor de "S" de acuerdo con la sección referente a Esfuerzo Permisible a la Tensión "S".

El valor del esfuerzo permisible a la tensión "S" aplicable en la fórmula de diseño que se mencionará posteriormente, se obtendrá de la siguiente manera:

1. Tubos y accesorios de especificación conocida del apéndice "A" de la última edición del código ANSI B 31.3.
2. Tubos y accesorios usados de especificación conocida y aprobada del apéndice "A" de la última edición del código ANSI -- B 31.3, si se satisfacen los requisitos de las pruebas visual, espesor y eficiencia de junta soldada indicadas más adelante.
3. Tubos y accesorios usados de especificación desconocida, no deberán emplearse.

En la fórmula deberá emplearse el producto $F_2 \times F_3 \times F_4 \times F_5 \times S$. Como máximo dicho producto será igual a la resistencia mínima especificada a la cedencia del material multiplicada por la eficiencia de junta soldada "E" $F_2 \times F_3 \times F_4 \times F_5 \times S$ (resistencia mínima especificada a la cedencia indicada en los códigos ANSI B 31

El valor calculado para esfuerzo de trabajo -- máximo permisible mencionado anteriormente, deberá reducirse en un 25% cuando se trate de un tubo que después de que ha sido trabajado en - frío, es calentado a 315.5°C (600°F) o más por un medio distinto a la soldadura, además, deberán considerarse reducciones para este valor - de esfuerzo de trabajo máximo permisible cuando se esperen condiciones cíclicas de temperatura, de acuerdo con lo establecido en la sección 302.3 del código ANSI B 31.3.

Espe^sor mínimo.- El espe^sor mínimo necesario - de la pared de un tubo sometido únicamente a - presión interna, se calcula con la siguiente - fórmula:

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

En donde:

t = Espe^sor de pared mínimo necesario en un tubo sometido únicamente a presión interna (pulg.)

P = Presión de diseño (Lb/pulg.²)

D = Diámetro nominal exterior del tubo (pulg.)

S* = Esfuerzo de trabajo máximo permisible (Lb/pulg.²)

Espe^sor mínimo requerido.- Es el mínimo neces

rio calculado de acuerdo a lo mencionado anteriormente, incrementado con las tolerancias y asignaciones mecánicas obtenidas del análisis y evaluación de los factores señalados en los párrafos 4, 5, 6 y 7 del inciso correspondiente al diseño de tuberías para transporte de productos petroquímicos, el cual no deberá ser menor que el indicado en la tabla 2.2 si es líquido ó 3.4 si se trata de un gas bajo las condiciones de transporte.

La suma de los esfuerzos longitudinales producidos por presión, cargas vivas, muertas y aquellos producidos ocasionalmente por el viento o sismos, no deberá ser mayor de 1.33 veces del esfuerzo permisible a la tensión del material (s). No es necesario considerar la carga por el viento y los sismos como si actuaran si multáneamente, se tomará el valor mayor del esfuerzo esperado para este calculado.

El espesor mínimo requerido en una tubería conectada a un equipo u otra tubería que opere con diferente presión, deberá calcularse con la presión de diseño mayor que se tenga.

Margen de corrosión.- El espesor adicional como margen de corrosión se determinará en función de la experiencia que se tenga en el manejo de los productos y de la eficiencia de los sistemas de prevención y control que se adopten, considerando una vida útil de la tubería de por lo menos 10 años.

TABLA 7.1 EFICIENCIA DE JUNTA SOLDADA
LONGITUDINAL O ESPIRAL "E"

Número de especificación	Tipo de tubo (1)	Eficiencia de junta "E" tubo fabricado después de 1958
ASTM A 53	Sin costura	1.00
	Soldado por resistencia eléctrica	1.00
	Soldado por traslape en horno	0.80
	Soldado a tope en horno	0.60
ASTM A 106	Sin costura	1.00
ASTM A 134	Soldado (arco) por fusión eléctrica de paso sencillo o doble	0.80
ASTM A 135	Soldado por resistencia eléctrica	1.00
ASTM A 139	Soldado por fusión eléctrica de paso sencillo o doble	0.80
ASTM A 155	Soldado por fusión eléctrica	1.00
ASTM A 381	Soldado por fusión eléctrica, soldado por arco sumergido doble	1.00
API 5L	Sin costura	1.00
	Soldado por resistencia eléctrica	1.00
	Soldado por presión y calentamiento eléctrico (Flash)	1.00
	Soldado por inducción eléctrica	1.00
	Soldado por arco sumergido	1.00
	Soldado por traslape en horno	0.80(2)
	Soldado a tope en horno	0.60
API 5LS	Soldado por resistencia eléctrica	1.00
	Soldado por arco sumergido	1.00
API 5LX	Sin costura	1.00
	Soldado por resistencia eléctrica	1.00
	Soldado por centelleo (Flash)	1.00
	Soldado por inducción eléctrica	1.00
	Soldado por arco sumergido	1.00
Conocido	Conocido	(3)
Desconocido	Sin costura	1.00(6)
Desconocido	Soldado por centelleo (Flash)	1.00(4)
Desconocido	Soldado por fusión eléctrica	0.80(4)
Desconocido	Soldado por traslape en horno o mayor de 4½" de diámetro exterior	0.80(5)
Desconocido	Soldado a tope en horno o de diámetro de 4½" y más pequeño	0.60(6)

- NOTA : (1) Las definiciones para los diferentes tipos de tubo (junta soldada) se establecen en la sección 400.2 del Código ANSI B31.4.
- (2) Su fabricación se discontinuó y el proceso se suprimió de la Norma API 5L en 1962.
- (3) Los valores de "E" mostrados más arriba, se aplican para tubo nuevo o usado (recuperado) si la especificación y el tipo de tubo se conocen y se fabricó después de 1958.
- (4) Este valor de "E" se aplica para tubo nuevo o usado de especificación desconocida y ASTM A 120, si se conoce el tipo de soldadura del tramo.
- (5) Este valor de "E" se aplica para tubo nuevo o usado de especificación desconocida y ASTM A 120, si el tipo de soldadura del tramo es soldado a traslape en horno, o para tubo de más de 4½ de diámetro exterior si el tipo de la junta es desconocido.
- (6) El factor se aplica para tubo nuevo o usado de especificación desconocida y ASTM A 120, si el tipo de junta de soldadura es soldado a tope en horno, o para tubo de 4½" de diámetro exterior y más pequeño si se desconoce el tipo de junta.

TABLA 7.2 ESPESOR MÍNIMO NOMINAL DE PARED
PARA TUBO DE ACERO

Tamaño nominal del tubo (pulgadas)	Diámetro nominal exterior (pulgadas)	Espesor mínimo nominal de pared tubo de extremos planos (pulgadas)
2	2.375	0.078
2 1/2	2.875	0.083
3	3.500	0.083
3 1/2	4.000	0.083
4	4.500	0.083
5	5.563	0.083
6	6.625	0.083
8	8.625	0.104
10	10.750	0.104
12	12.750	0.104
14	14.000	0.133
16	16.000	0.133
18	18.000	0.133
20	20.000	0.133
22	22.000	0.148
24	24.000	0.164
26	26.000	0.172
28	28.000	0.188
30	30.000	0.203
32	32.000	0.219
34	34.000	0.226
36	36.000	0.242
38	38.000	0.258
40	40.000	0.273
42	42.000	0.281
44	44.000	0.297
46	46.000	0.312
48	48.000	0.328

NOTA: El espesor mínimo nominal de pared, para tubo de extremos roscados o ranurados, deberá estar de acuerdo con el Código ANSI B36.10. El uso de juntas rosacadas está limitado en la sección 414.1 del Código ANSI B31.4.

**TABLA 7.3 NUMERO MINIMO DE PRUEBAS
 DE DOBLADO O DE CEDENCIA A LA TENSION**

Diámetro exterior del tubo (pulgadas)	Número mínimo de pruebas
Menos de 6.625	Una por cada 200 tramos
6.625 a 12.750	Una por cada 100 tramos
Más de 12.750	Una por cada 50 tramos

**TABLA.7.4 NUMERO MINIMO DE SOLDADURAS
 DE PRUEBA**

Diámetro exterior del tubo (pulgadas)	Número mínimo de pruebas
Menos de 6.625	Una por cada 400 tramos
6.625 a 12.750	Una por cada 200 tramos
Más de 12.750	Una por cada 100 tramos

**NOTA : Todos los especímenes de prueba deben seleccionarse al
 azar.**

TABLA 3.1 FACTOR DE DISEÑO "F" POR CLASE DE LOCALIZACION

Clase de localización	Factor de diseño
1	0.72
2	0.60
3	0.50
4	0.40

NOTA : La clase de localización deberá determinarse de acuerdo con el inciso 3.2.13 de esta Norma.

TABLA 3.2 EFICIENCIA DE JUNTA SOLDADA LONGITUDINAL "E"

Número de especificación		Eficiencia "E"
ASII: A 53	Sin costura	1.00
	Soldado por resistencia eléctrica	1.00
ASTH A 106	Soldado a tope en horno	0.60
	Sin costura	1.00
ASTH A 134	Soldado (arco) por fusión eléctrica	1.00
ASTH A 135	Soldado por resistencia eléctrica	1.00
ASTH A 139	Soldado por fusión eléctrica	0.60
ASTH A 155	Soldado (arco) por fusión eléctrica	1.00
ASTH A 211	Tubo de acero soldado en espiral	0.80
ASTH A 381	Soldado por arco sumergido doble	1.00
API 5L	Sin costura	1.00
	Soldado por resistencia eléctrica	1.00
	Soldado por centello (Flash)	1.00
	Soldado a tope en horno	0.60
	*Soldado a traslape en horno	0.80
API 5LX	Sin costura	1.00
	Soldado por resistencia eléctrica	1.00
	Soldado por centelleo (Flash)	1.00
	Soldado por arco sumergido	1.00
API 5LS	Soldado por resistencia eléctrica	1.00
	Soldado por arco sumergido	1.00

* Su fabricación fue descontinuada y el proceso suprimido de la especificación API 5L en 1962.

TABLA 3.3 FACTOR DE DISEÑO "T"
POR TEMPERATURA (°C)

Temperatura (celsius)	Factor de diseño "T"
121 ó menos	1.000
150	0.967
175	0.933
200	0.900
225	0.867

NOTA : Para temperaturas intermedias deberá interpolarse para estimar el factor.

TABLA 3.4 ESPESOR MÍNIMO NOMINAL DE PARED PARA
TUBO DE ACERO (pulgadas)

Tamaño nominal (pulgadas)	Diámetro exterior (pulgadas)	(1) Tubo de extremos planos		(1) Tubo de extremos roscados				
		Clase de localización						
		(2)		2	3 y 4	Cualquiera	Estaciones de compresión	
1/8	0.405	0.035	0.065	0.065	0.065	0.068	0.095	Extremos planos o roscados
1/4	0.540	0.037	0.065	0.065	0.065	0.088	0.119	
3/8	0.675	0.041	0.065	0.065	0.065	0.091	0.126	
1/2	0.840	0.046	0.065	0.065	0.065	0.109	0.147	
3/4	0.050	0.048	0.065	0.065	0.065	0.113	0.154	
1	1.315	0.053	0.065	0.065	0.065	0.133	0.179	
1 1/4	1.660	0.061	0.065	0.065	0.065	0.140	0.191	
1 1/2	1.900	0.065	0.065	0.065	0.065	0.145	0.200	
2	2.375	0.075	0.075	0.075	0.075	0.154	0.218	
2 1/2	2.875	0.083	0.085	0.085	0.085	0.203	0.203	
3	3.500	0.083	0.098	0.098	0.098	0.216	0.216	Extremos planos solamente
3 1/2	4.000	0.083	0.108	0.108	0.108	0.226	0.226	
4	4.500	0.083	0.116	0.116	0.116	0.237	0.237	
5	5.563	0.083	0.125	0.125	0.125	0.258	0.250	
6	6.625	0.083	0.134	0.134	0.156	0.280	0.250	
8	8.625	0.104	0.134	0.134	0.172	0.322	0.250	
10	10.750	0.104	0.164	0.164	0.188		0.250	
12	12.750	0.104	0.164	0.164	0.203		0.250	
14	14.000	0.134	0.164	0.164	0.210		0.250	
16	16.000	0.134	0.164	0.164	0.219		0.250	
18	18.000	0.134	0.188	0.188	0.250		0.250	
20	20.000	0.134	0.188	0.188	0.250		0.250	
22, 24, 26	22, 24, 26	0.164	0.188	0.188	0.250		0.250	
28, 30	28, 30	0.164	0.250	0.250	0.281		0.281	
32, 34, 36	32, 34, 36	0.218	0.250	0.250	0.312		0.312	
38, 40, 42	38, 40, 42	0.250	0.312	0.312	0.375		0.375	

NOTAS (1) El espesor mínimo nominal para tubo de acero de extremos planos, menor de 50.8 mm (2 pulgadas) de diámetro nominal y usado en líneas donde la presión no excede de 7.03 kg/cm² (100 lb/pulg²), no se limita en esta tabla, pero no deberá ser menor de 0.89 mm (0.35 pulgadas) en cualquier Clase de localización.

(2) Conexiones de fábrica.

(3) El espesor de pared para tubería de instrumentación, control y muestra deberá estar de acuerdo con lo establecido en la sección B45.5 del Código ANSI B31.8 última edición.

(4) Mientras el Código ANSI B31.8 no indique lo contrario, para diámetros de 44, 46 y 48 los espesores de pared mínimo serán como sigue: Clase de localización 1, 0.312; 2, 0.375; 3, 4 y estaciones de compresión 0.425. Las conexiones deberán tener 0.375 en clase 1 y los espesores indicados, en otras localizaciones.

TABLA 3.5 ESPACIAMIENTO MAXIMO
ENTRE VALVULAS DE SECCIONAMIENTO

Clase de localización	Espaciamiento máximo (km)
1	30
2	20
3	10
4	5

TABLA 3.6 NUMERO MINIMO DE SOLDADURAS
A PRUEBA

Diámetro exterior del tubo (pulgadas)	Número mínimo de soldaduras a prueba
Menor de 4	Una por cada 400 tramos
De 4 y mayor	Una por cada 100 tramos

TABLA 3.7 NUMERO MINIMO DE PRUEBAS
DE APLASTAMIENTO O TENSION
(Cualquier diámetro)

Lote de	Número mínimo de pruebas
10 tramos o menos	Una serie por cada tramo
11 a 100 tramos	Una serie por cada cinco tramos, pero no menos de diez.
Más de 100 tramos	Una serie por cada 10 tramos, pero no menos de veinte.

NOTA : Todos los especímenes de prueba deberán seleccionarse al azar.

TABLA 4.1 FACTOR DE DISEÑO "F1" POR CLASE DE LOCALIZACIÓN*

Clase de Localización	Factor de diseño "F1"
1	0.72
2	0.60
3	0.50
4	0.40

NOTA : La clase de localización deberá determinarse de acuerdo con el inciso 3.2.13 de esta Norma, independientemente del estado físico (líquido o gas), en que se efectuará el transporte del producto.

TABLA 4.2 FACTORES DE DISEÑO "F2", "F3" Y "F4" POR TOXICIDAD INFLAMABILIDAD Y REACTIVIDAD

Grado de riesgo*	Factores de diseño		
	"F2"	"F3"	"F4"
4	0.80	1.20	0.91
3	0.91	1.23	1.00
2	1.00	1.27	1.11
1	1.18	1.30	1.22
0	1.33	1.33	1.33

NOTA : El grado de riesgo deberá determinarse de acuerdo con lo indicado en la clasificación de la National Fire Protection Association (NFPA, Fire Protection Guide on -- Hazardous Materials, secciones 701 H, 49 y 325 H), de la cual la relación anexa es un resumen.

RELACION ANEXA A LA TABLA 4.2

Producto	Grado de riesgo		
	Toxicidad	Inflamabilidad	Reactividad
Bisulfuro de carbono	2	3	0
Cloruro de metilo	2	4	0
Acetileno	1	4	3
Acido cianhídrico	4	4	2
Metanol	1	3	0
Hidrógeno	0	4	0
Amoniaco	3	1	0
Acrilonitrilo	4	3	2
Acido Nítrico	3	0	0
Etileno	1	4	2
Acetaldehído	2	4	2
Bromo etileno	3	0	0
Tetraetilo de plomo	3	2	3
Alcohol etílico	0	3	0
Cloruro de etilo	2	4	0
Dicloroetano	2	3	0
Cloruro de vinilo	2	4	1
Oxido de etileno	2	4	3
Propileno	1	4	1
Butadieno	2	4	2
Acroleina	3	3	2
Acido acrílico	3	2	2
Acetonitrilo	2	3	0
Cumeno	0	2	0
Alcohol isopropílico	1	3	0
Oxido de propileno	2	4	2
Benceno	2	3	0
Clorobenceno	2	3	0
Etilbenceno	2	3	0
Estireno	2	3	2
Nitrobenceno	3	2	0
Ciclohexano	1	3	0
Tolueno	2	3	0
Xilenos	2	3	0
Naftaleno	2	2	0
Acido clorhídrico	3	0	0
Acido sulfúrico	3	0	2
Acido sulfhídrico	3	4	0
Cloro	3	0	1
Cianógeno	4	4	3
Acido fluorhídrico	4	0	0
Oxígeno (líquido)	3	0	0

TABLA 4.3 FACTOR DE DISEÑO "F5"
POR ESTADO FISICO**

Fase	Factor de diseño "F5"
Gas	1.00
Líquido	0.91

** Se refiere al estado físico del producto, bajo las condiciones del transporte.

NOTA: En la fórmula :

$$S^* = F_1 \times F_2 \times F_3 \times F_4 \times F_5 \times S$$

Deberá cumplirse la condición siguiente:

$F_2 \times F_3 \times F_4 \times F_5 \times S$ Resistencia mínima especificada a la cedencia del material x la eficiencia de junta soldada (R/EC x E).

CONCLUSION.

La finalidad buscada en este trabajo es como se dijo inicialmente, proporcionar los procedimientos para el cálculo y selección (adecuados) de Espesor de Pared de Tuberías de Plantas de Refinación, dándose a conocer los lineamientos o procedimientos generales para dichos cálculos en cada uno de los capítulos del contenido.

Los procedimientos pueden ser aplicados tomando en cuenta las condiciones generales de diseño de cada proyecto en particular y utilizar las que apliquen en cada caso, éstos contendrán los elementos e información necesaria para obtener los resultados deseados de acuerdo a la problemática planteada.

Las consideraciones planteadas en este trabajo son en base a algo previamente establecido en códigos, normas y estándares, así como de algunos resultados obtenidos en selecciones y cálculos de espesores de tuberías, en las cuales se ha trabajado directamente.

Y en sí el objeto de dicho trabajo es, que sirva como guía para el cálculo y verificación de Espesores de Pared de Tuberías en Plantas de Refinación.

El motivo por el cual se habla de este tema, es que la adquisición y montaje de tuberías para cualquier planta de Refinación, representa un 50% de las adquisiciones de dicha planta, por lo que se justifica el hecho de que se trate de optimizar en el uso de materiales y espesores en tuberías, al verse ésto reflejado en el costo total de la planta.

REFERENCIAS.

- APENDICE A DEL API EN LA PARTE DE RESISTENCIA Y DISEÑO.
FORMULAS EN LA PARTE DE PRESION DE COLAPSO.
EDICION MARZO/1980

- NORMA PEMEX
REQUISITOS MINIMOS DE SEGURIDAD PARA EL DISEÑO CONSTRUCCION, OPERACION, MANTENIMIENTO E INSPECCION DE TUBERIA DE TRANSPORTE.

- ANSI B31.3, B31.4, B31.8

- ASME SECCION VIII, DIVISION 1.

- CATALOGOS DE FABRICANTES DE TUBERIA DE ACERO AL CARBON Y ACERO INOXIDABLE.

- LIBRO. INGENIERIA DE PROYECTOS PARA PLANTAS DE PROCESO.
RASE Y BARROW
EDITORIAL CECSA. EDICION OCTUBRE 1977.