

Cálculo de PMTA – Ejercicio de aplicación: Caldera humotubular con hogar liso

Ing.Alejandro Domínguez – Ing.Oliver Kraus



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



UCU

Universidad
Católica del
Uruguay

Ejemplo 1

Durante la inspección de una caldera humotubular se encontraron los siguientes resultados en la medición de espesores (se indican además dimensiones y materiales. Temperatura de diseño 180°C

Componente	Material	Espesor (mm)	Dimensión (mm)
Cuerpo cilíndrico	SA 285 Gr C	10,1	D=1300
Hogar	SA 285 Gr C	11,3	D0= 600
Tubos de humos	SA 106 Gr A(*)	3,1	D0=38
Placas tubulares	SA 285 Gr C	17,1	p=75

(*) se desconoce el material, luego se asigna en función de composición química y dureza

1- Requisitos de materiales: ASME I

PG-5 GENERAL

PG-5.1 Excepto que de otra manera esté permitido en PG-8.2, PG-8.3, PG-10 y PG-11, todo material sometido a tensiones causadas por la presión deberá cumplir con una de las especificaciones incluidas en la Sección II, y deberá estar limitado a aquellos listados en las Tablas de la Sección II, Parte D. El Fabricante deberá asegurar que se haya recibido el material correcto y que este está completamente identificado antes de proceder con la construcción (ver A-302.4).

1- Requisitos de materiales: ASME I

Los materiales no deberán utilizarse a temperaturas mas altas que aquellas en las cuales los valores de tensiones están limitados, para la construcción según la Sección I, en las Tablas de la Sección II, Parte D

SPECIFICATION FOR SEAMLESS CARBON STEEL PIPE FOR HIGH-TEMPERATURE SERVICE



SA-106/SA-106M



[Identical with ASTM Specification A106/A106M-08.]

Section I; Section III, Classes 2 and 3;* Section VIII, Division 1; and Section XII
Maximum Allowable Stress Values, S, for Ferrous Materials
(*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

Line No.	Min. Tensile Strength, MPa	Min. Yield Strength, MPa	Applicability and Max. Temperature Limits (NP = Not Permitted) (SPT = Supports Only)				External Pressure Chart No.	Notes
			I	III	VIII-1	XII		
1	275	140	NP	NP	343	NP	CS-6	...
2	275	140	NP	NP	343	NP	CS-6	...
3	310	155	NP	343 (Cl. 3 only)	482	343	CS-6	G10, G22, T10
4	310	165	NP	149 (Cl. 3 only)	NP	NP	CS-1	W12
5	310	165	NP	149 (Cl. 3 only)	343	343	CS-1	...
6	310	165	482	371	482	343	CS-1	G10, T2
7	310	165	NP	371	NP	NP	CS-1	S6, W10, W12
8	310	170	NP	NP	482	343	CS-1	G10, T2
9	325	180	538	NP	NP	NP	CS-1	G4, G10, S1, T2, W13
10	325	180	538	NP	538	343	CS-1	G3, G10, G24, S1, T2, W6
11	325	180	NP	NP	482	343	CS-1	G10, T2
12	325	180	538	NP	538	343	CS-1	G10, S1, T2
13	325	180	NP	NP	538	343	CS-1	G24, T2, W6
14	325	180	NP	NP	538	343	CS-1	G10, T2
15	325	180	NP	NP	538	343	CS-1	G24, T2, W6
16	330	205	482	NP	NP	NP	CS-2	G3, G10, S1, T2
17	330	205	482	149 (Cl. 3 only)	NP	NP	CS-2	G10, S1, T2, W12, W13
18	330	205	NP	NP	482	343	CS-2	G24, T2, W6
19	330	205	399	NP	NP	NP	CS-2	G2, G10, S10, T2, W15
20	330	205	482	149 (Cl. 3 only)	NP	NP	CS-2	G10, S1, T2
21	330	205	NP	371 (SPT)	482	343	CS-2	G10, T2
22	330	205	538	371	538	343	CS-2	G10, S1, T1



1- Requisitos de materiales: Equipo en servicio \Rightarrow NBIC

PG-6 PLACAS

PG-6.1 Las placas de acero para cualquier parte de una caldera sometida a presión, estén o no expuestas al fuego o a los productos de la combustión, deberán ser de calidad para recipientes a presión de acuerdo con una de las siguientes especificaciones:

...

SA-285 Placas para recipientes a presión, acero al carbono, baja y media resistencia a la tracción

...

1- Requisitos de materiales: Equipo en servicio \Rightarrow NBIC

Acero al carbono o aleado con un contenido de carbono de más de 0.35% no deberá ser soldado a menos que sea permitido por el código original de construcción. El titular del certificado “R” es responsable por verificar la identificación de materiales existentes a partir de los datos, planos, o registros del componente retenedor de presión, originales, y de la identificación de los materiales a ser instalados.

1- Requisitos de materiales: Equipo en servicio \Rightarrow NBIC

Se deberá prestar consideración a la condición de los materiales existentes, especialmente en el área de preparación de soldadura. Si el material existente no puede ser verificado (material desconocido), el poseedor del certificado “R” deberá realizar un **análisis químico y prueba de dureza**, como mínimo, del material desconocido para verificar su soldabilidad y resistencia o puede elegir calificar un procedimiento de soldadura. Si hay dudas con relación a las características de soldabilidad del material, entonces debería buscarse asesoramiento técnico competente

2- Verificar espesores mínimos según PG

PG-16.3 Espesores mínimos. A excepción de las calderas eléctricas construidas de acuerdo con las reglas de la Parte PEB, el espesor mínimo de cualquier placa de caldera sometida a presión deberá ser de 1/4 in. (6 mm). El espesor mínimo de las placas en las cuales se pueden aplicar riostras, que no sean las placas del cuerpo cilíndrico exterior, deberá ser de 5/16 in. (8 mm).

Las placas del cuerpo cilíndrico y del hogar verifican (espesor > 6 mm)

Las placas tubulares verifican (Espesor > 8 mm)

3- Determinar los valores de tensiones admisibles a utilizar en las fórmulas

PG-23 VALORES DE TENSIONES PARA LAS FÓRMULAS DE CÁLCULO

PG-23.1 Los valores de tensiones máximas admisibles de la Sección II, Parte D, Subparte 1, Tablas 1A y 1B, son las tensiones a ser usadas en las formulas de esta Sección para calcular el espesor mínimo requerido o la presión máxima admisible de trabajo de una parte sometida a presión (vea el Apéndice 1 de la Sección II, Parte D).

3- Determinar los valores de tensiones admisibles a utilizar en las fórmulas

Line				Maximum Allowable Stress, MPa (Multiply by 1000 to Obtain kPa), for Metal Temperature, °C, Not Exceeding												
No.	40	65	100	125	150	200	250	300	325	350	375	400	425	450	475	
1	78.6	78.6	78.6	78.6	78.6	78.6	76.0	71.6	69.6	67.8	...	...	...	...	...
16	80.7	80.7	80.7	80.7	80.7	80.7	80.7	80.7	80.7	79.8	71.6	62.3	53.7	43.9	32.9	
17	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	93.5	84.5	73.3	62.8	51.2	38.3	
18	80.7	80.7	80.7	80.7	80.7	80.7	80.7	80.7	80.7	79.8	71.6	62.4	54.9	47.5	40.1	
19	56.5	56.5	56.5	56.5	56.5	56.5	56.5	56.5	56.5	56.0	50.7	43.8	...	...	...
20	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	93.5	84.5	73.3	62.8	51.2	38.3	
21	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	93.6	84.4	73.3	64.7	56.0	47.6	
22	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	93.6	84.4	73.3	64.7	56.0	47.6	
15	Carbon steel	Wld. tube	SA-557	A2	K01807 ...	...	1	1							
16	Carbon steel	Wld. pipe	SA-53	E/A	K02504 ...	...	1	1							
17	Carbon steel	Wld. pipe	SA-53	E/A	K02504 ...	...	1	1							
18	Carbon steel	Wld. pipe	SA-53	E/A	K02504 ...	...	1	1							
19	Carbon steel	Wld. pipe	SA-53	F/A	...	...	1	1							
20	Carbon steel	Sms. pipe	SA-53	S/A	K02504 ...	...	1	1							
21	Carbon steel	Sms. pipe	SA-53	S/A	K02504 ...	...	1	1							
22	Carbon steel	Sms. pipe	SA-106	A	K02501 ...	...	1	1							
23	Carbon steel	Wld. pipe	SA-135	A	...	...	1	1							
24	Carbon steel	Forged pipe	SA-369	FPA	K02501 ...	...	1	1							
25	Carbon steel	Wld. pipe	SA-587	...	K11500 ...	...	1	1							
26	Carbon steel	Wld. pipe	SA-587	...	K11500 ...	...	1	1							

3- Determinar los valores de tensiones admisibles a utilizar en las fórmulas

Componente	Material	Tensión máxima admisible S (a 180°C), en MPa	Espesor (mm)	Dimensión (mm)
Cuerpo cilíndrico	SA 285 Gr C	108	10,1	D=1300
Hogar	SA 285 Gr C	108	11,3	D0= 600
Tubos de humos	SA 106 Gr A(*)	94,5	3,1	D0=38
Placas tubulares	SA 285 Gr C	108	17,1	p=75

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

a) Cuerpo cilíndrico

$$P = \frac{2SE(t - C)}{D - 2y(t - C)}$$

C = margen mínimo para roscado y estabilidad estructural (ver PG-27.4.3)

D = diámetro exterior del cilindro

E = eficiencia (ver PG-27.4.1)

P = presión máxima admisible de trabajo (ver PG-21)

S = valor de la tensión máxima admisible a la temperatura de diseño del metal, como se indica en las tablas especificadas en PG-23, (ver PG-27.4.2)

y = coeficiente de temperatura (ver PG-27.4.6)

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

a) Cuerpo cilíndrico

PG-27.4.1

...

$E = w$, factor de reducción de la resistencia de la junta soldada según PG-26, para cilindros con soldadura longitudinal, sin ligamentos

Table PG-26
Weld Strength Reduction Factors to Be Applied When Calculating Maximum Allowable Working Pressure or Minimum Required Thickness of Components Fabricated With a Longitudinal Seam Weld

Temperature,°F	700	750	800	850	900	950	1,000	1,050	1,100	1,150	1,200	1,250	1,300	1,350	1,400	1,450	1,500	1,550	1,600	1,650
Temperature,°C	371	399	427	454	482	510	538	566	593	621	649	677	704	732	760	788	816	843	871	899
Steel Group	Weld Strength Reduction Factor [Note (1)]-[Note (6)]																			
C-Mn [Note (7)]	1.00	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
Cr-Mn [Note (8)], [Note (9)]	1.00	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77	0.73	0.68	0.64	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
CSEF (N + T) [Note (9)], [Note (10)], [Note (11)]	1.00	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
CSEF (subcrit) [Note (9)], [Note (11)], [Note (12)]	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
Austenitic stainless steels and alloys 800H (N08810 and N08811) [Note (13)], [Note (14)]	1.00	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77	0.73	0.68	0.64	0.59	0.55	0.50	NP	NP	NP
Autogenously welded austenitic stainless [Note (15)]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	NP	NP	NP
Nickel base alloys																				
N06045	1.00	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77	0.73	0.68	0.64	0.59	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	NP	NP	NP
N06600	1.00	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77	0.73	0.68	0.64	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
N06690	1.00	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77	0.73	0.68	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
N06601	1.00	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77	0.73	0.68	0.64	0.59	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
N06025	1.00	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77	0.73	0.68	0.64	0.59	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50
N10276	1.00	0.95	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
N06022	1.00	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
N06230	1.00	0.95	0.91	0.86	0.82	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
N06625	1.00	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
N06617 (except SAW) [Note (16)]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
N06617 (SAW) [Note (17)]	1.00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
N07740	1.00	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	NP	NP
Autogenously welded nickel base alloys [Note (15)]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

GENERAL NOTE: Nothing in this table shall be construed to permit materials that are not permitted by PG-5 through PG-9 of this Section or to permit use of materials at temperatures beyond limitations established by this Section. Several materials covered by this table are currently permitted for Section I application only via code case.

NOTES:

- (1) Cautionary Note: There are many factors that may affect the life of a welded joint at elevated temperature, and all of those factors cannot be addressed in a table of weld strength reduction factors. For example, fabrication issues such as the deviation from a true circular form in pipe (e.g., "peaking" at longitudinal weld seams) or offset at the weld joint can cause an increase in stress that may result in reduced service life, and control of these deviations is recommended.
- (2) NP = not permitted.
- (3) Components made from carbon steel are exempt from the requirements of PG-26 and Table PG-26.



4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

a) Cuerpo cilíndrico

PG-27.4.6

y = un coeficiente que tiene los siguientes valores:

$y = 0,4$

	Temperatura, °F (°C)							
	900 (480) e inferior	950 (510)	1,000 (540)	1,050 (565)	1,100 (595)	1,150 (620)	1,200 (650)	1,250 (675) y superior
Ferrítico	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Austenítico	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
Aleación 800, 801	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
800H, N08811	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
825	0.4	0.4	0.4	...	...	...	...	...
N06230	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
N06022	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
N06025	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
N06045	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
N06600	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	...
N06601	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	...
N06625	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	...	...	...
N06690	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	...
Aleación 617	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
S31803	0.4	...	...	...	...	...	...	...

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

a) Cuerpo cilíndrico

$$E = 1$$

$$t=10,1 \text{ mm}$$

$$D=1300 \text{ mm}$$

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

a) Cuerpo cilíndrico

$$P = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot (t + C)}{D - 2 \cdot y \cdot (t - C)}$$

$$P = \frac{2 \cdot 108 \cdot 1 \cdot (10,4 + 0)}{1300 - 2 \cdot 0,4 \cdot (10,4 - 0)}$$

$$P = 1,74 \text{ MPa}$$

$$C = NA$$

$$D = 1300$$

$$E = 1$$

P = presión máxima admisible de trabajo (PMTA)

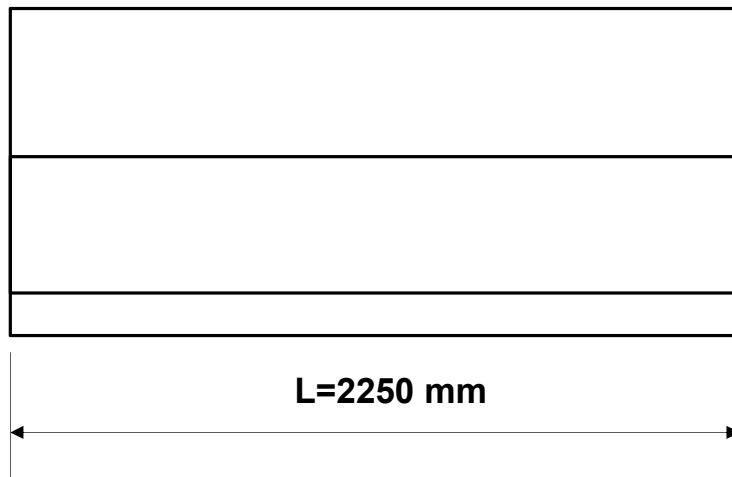
$$S = 108 \text{ MPa}$$

$$y = 0,4$$

$$t = 10,4 \text{ mm}$$

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

b) Hogar liso



PFT-15 HOGARES CIRCULARES LISOS

PFT-15.1 Los hogares circulares lisos pueden realizarse de cualquier longitud, usando tramos cuando se desee. El espesor no puede ser inferior a 5/16 in. (8 mm).

PFT-15.2 La presión máxima admisible de trabajo deberá ser determinada de acuerdo con PG-28.3.

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

b) Hogar liso

PG-28.3 Presión máxima admisible de trabajo para componentes cilíndricos

PG-28.3.1 La presión máxima admisible de trabajo de componentes cilíndricos deberá ser determinada con las siguientes reglas. Los gráficos de presión externa para ser usados en la determinación de los requisitos están dados en la Sub Parte 3 de la Sección II, Parte D. Las Figuras cuyos números se dan en este artículo están contenidas en esa Sub parte.

3- Determinar los valores de tensiones admisibles a utilizar en las fórmulas

Componente	Material	Tensión máxima admisible S (a 180°C), en MPa	Espesor (mm)	Dimensión (mm)
Cuerpo cilíndrico	SA 285 Gr C	108	10,1	D=1300
Hogar	SA 285 Gr C	108	11,3	D0= 600
Tubos de humos	SA 106 Gr A(*)	94,5	3,1	D0=38
Placas tubulares	SA 285 Gr C	108	17,1	p=75

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

b) Hogar liso

PG-28.3.1.2 Componentes cilíndricos. El espesor mínimo requerido de un componente cilíndrico sometido a presión exterior, ya sea sin costura o con uniones longitudinales a tope, se deberá determinar mediante el siguiente procedimiento:

(a) Cilindros con valores de D_0/t iguales o mayores que 10

$$D_0/t = 600/11,3 = 53,09$$

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

b) Hogar liso

$$L/D_0 = \frac{2250}{600} = 3,75$$

$$D_0/t = \frac{600}{11,3} = 53,09$$

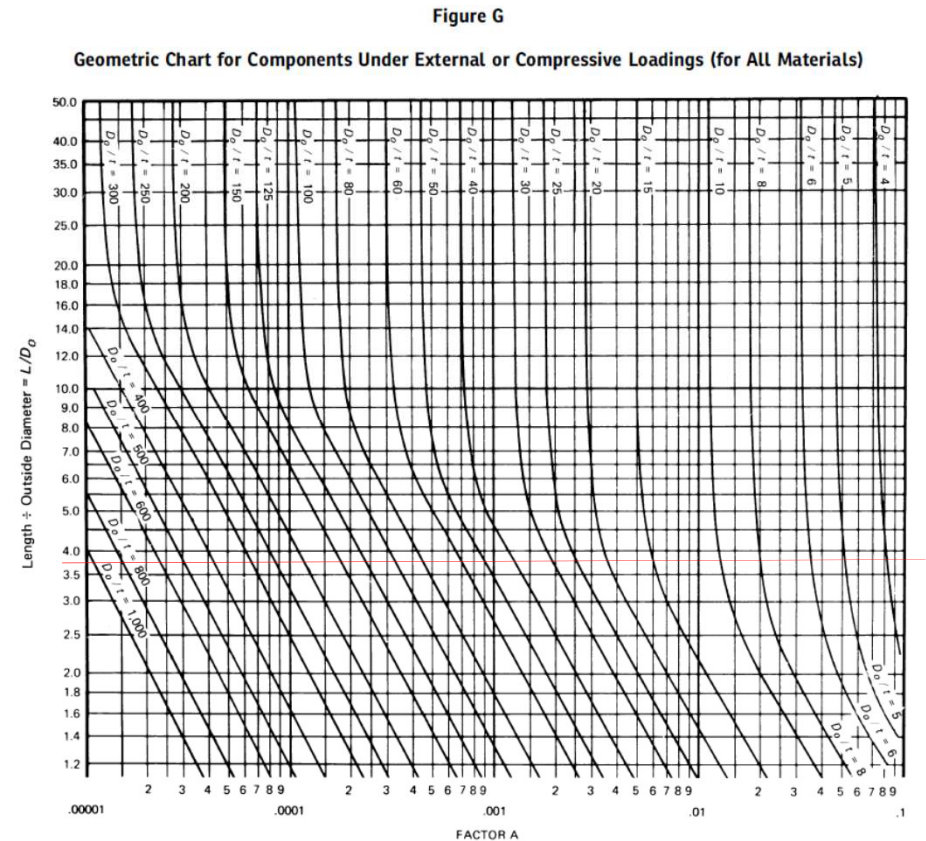
Paso 1. Suponga un valor de t y determine las relaciones L/Do y Do/t.

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

b) Hogar liso

Paso 2. Entre en la Figura G de la Sección II, Parte D, con el valor de L/D_0 determinado en el Paso 1. Para valores de L/D_0 mayores a 50, entre al gráfico con un valor de $L/D_0 = 50$. Para los valores de L/D_0 menores a 0,05, entre al gráfico con un valor de $L/D_0 = 0,05$.

$$L/D_0 = \frac{2250}{600} = 3,75$$



4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

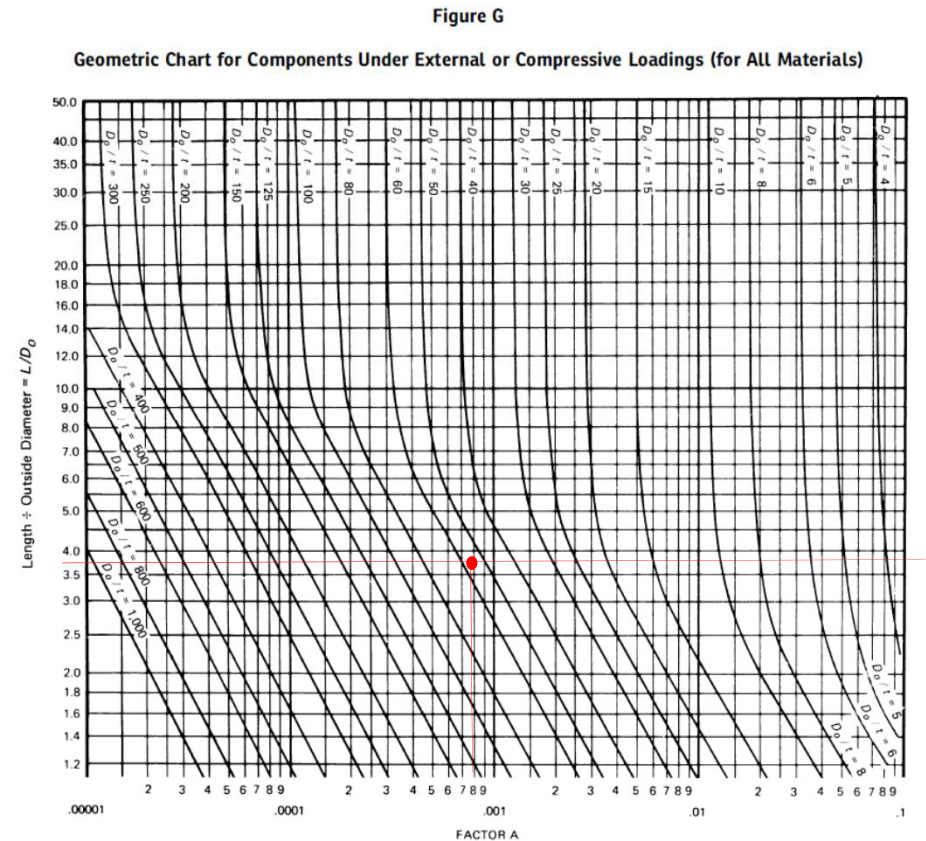
b) Hogar liso

Paso 2. Entre en la Figura G de la Sección II, Parte D, con el valor de L/D_0 determinado en el Paso 1. Para valores de L/D_0 mayores a 50, entre al gráfico con un valor de $L/D_0 = 50$. Para los valores de L/D_0 menores a 0,05, entre al gráfico con un valor de $L/D_0 = 0,05$.

$$L/D_0 = \frac{2250}{600} = 3,75$$

$$D_0/t = \frac{600}{11,3} = 53,09$$

$$\text{Factor A} = 0,0008$$

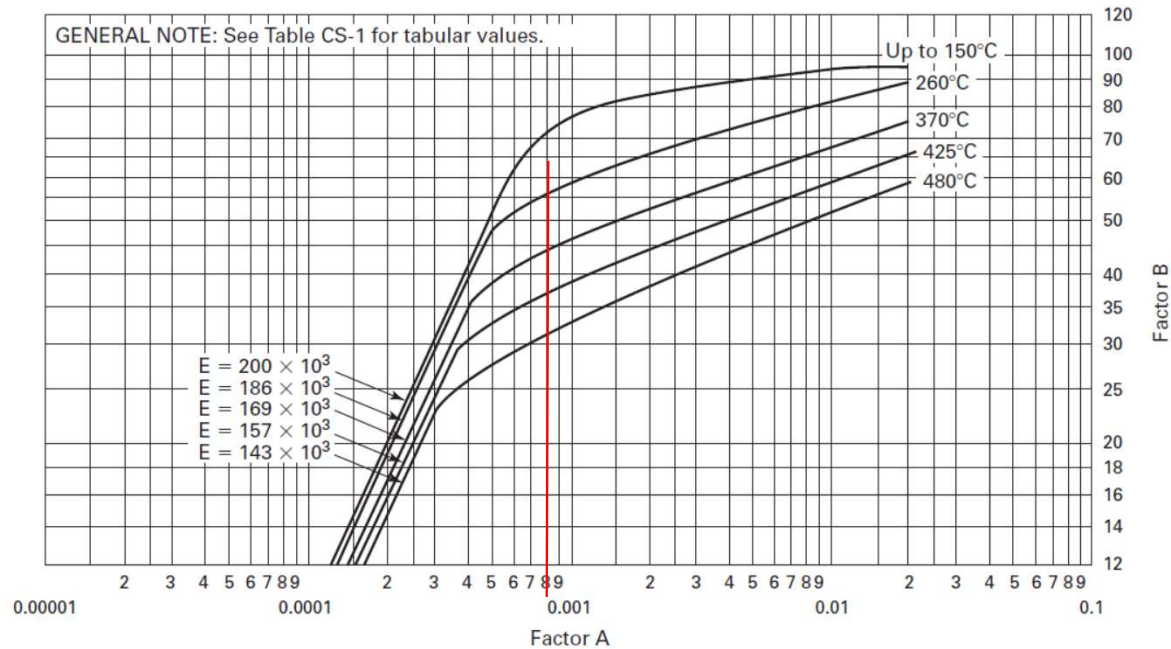


4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

b) Hogar liso

Paso 4. Usando el valor de A calculado en el Paso 3, entre al gráfico aplicable de la Sección II, Parte D, para el material considerado. Muévase verticalmente hasta la intersección con la línea material/temperatura para la temperatura de diseño. En los casos donde el valor de A cae a la derecha del final de la línea material/temperatura, asumir una intersección con la proyección horizontal del extremo superior de la línea material/temperatura. ...

Figure CS-1
Chart for Determining Shell Thickness of Components Under External Pressure Developed for Carbon or Low Alloy Steels With Specified Minimum Yield Strength Less Than 207 MPa



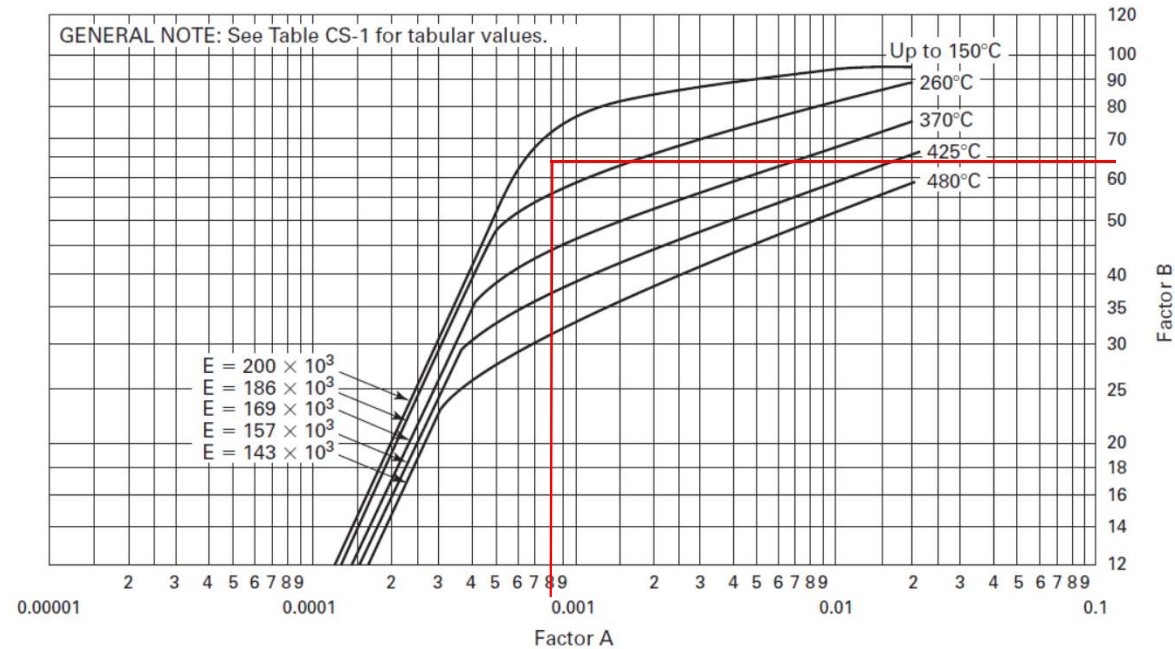
4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

b) Hogar liso

Paso 5. Desde la intersección obtenida en el Paso 4, muévase horizontalmente hacia la derecha y lea el valor del factor B.

Factor B = 64 MPa

Figure CS-1
Chart for Determining Shell Thickness of Components Under External Pressure Developed for Carbon or Low Alloy Steels With Specified Minimum Yield Strength Less Than 207 MPa



4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

b) Hogar liso

$$P_a = \frac{4.64}{3.600/11,3}$$

$$P_a = 1,6 \text{ MPa}$$

Paso 6. Usando este valor de B, calcule el valor de la presión máxima externa de trabajo admisible, P_a , usando la siguiente fórmula:

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

$P = 1,2 \text{ MPa}$ (presión externa de diseño)

Como $P_a > P$ el hogar verifica

3- Determinar los valores de tensiones admisibles a utilizar en las fórmulas

Componente	Material	Tensión máxima admisible S (a 180°C), en MPa	Espesor (mm)	Dimensión (mm)
Cuerpo cilíndrico	SA 285 Gr C	108	10,1	D=1300
Hogar	SA 285 Gr C	108	11,3	D0= 600
Tubos de humos	SA 106 Gr A(*)	94,5	3,1	D0=38
Placas tubulares	SA 285 Gr C	108	17,1	p=75

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

c) Tubos de humos

PG-28.3.1.2 Componentes cilíndricos. El espesor mínimo requerido de un componente cilíndrico sometido a presión exterior, ya sea sin costura o con uniones longitudinales a tope, se deberá determinar mediante el siguiente procedimiento:

(a) Cilindros con valores de D_0/t iguales o mayores que 10

$$D_0/t = 38/3,1 = 12,25$$

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

c) Tubos de humos

$$L/D_0 = \frac{2250}{38} = 59,21$$

$$D_0/t = \frac{38}{3,1} = 12,25$$

Paso 1. Suponga un valor de t y determine las relaciones L/Do y Do/t.

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

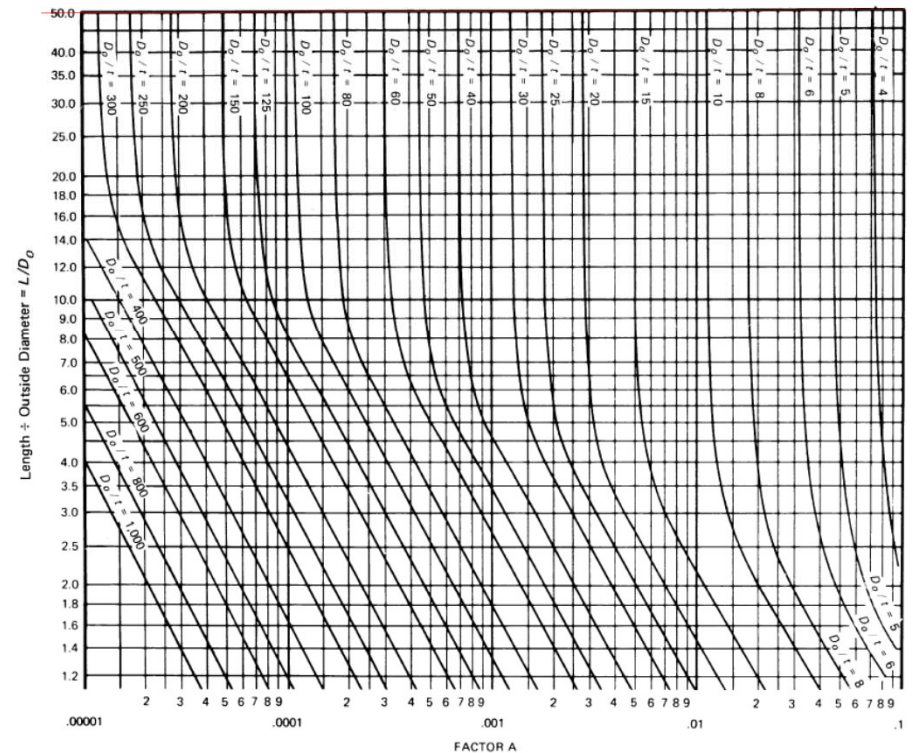
c) Tubos de humos

Paso 2. Entre en la Figura G de la Sección II, Parte D, con el valor de L/D_o determinado en el Paso 1. Para valores de L/D_o mayores a 50, entre al gráfico con un valor de $L/D_o = 50$. Para los valores de L/D_o menores a 0,05, entre al gráfico con un valor de $L/D_o = 0,05$.

$$L/D_o = \frac{2250}{38} = 59,21$$

Figure G

Geometric Chart for Components Under External or Compressive Loadings (for All Materials)



4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

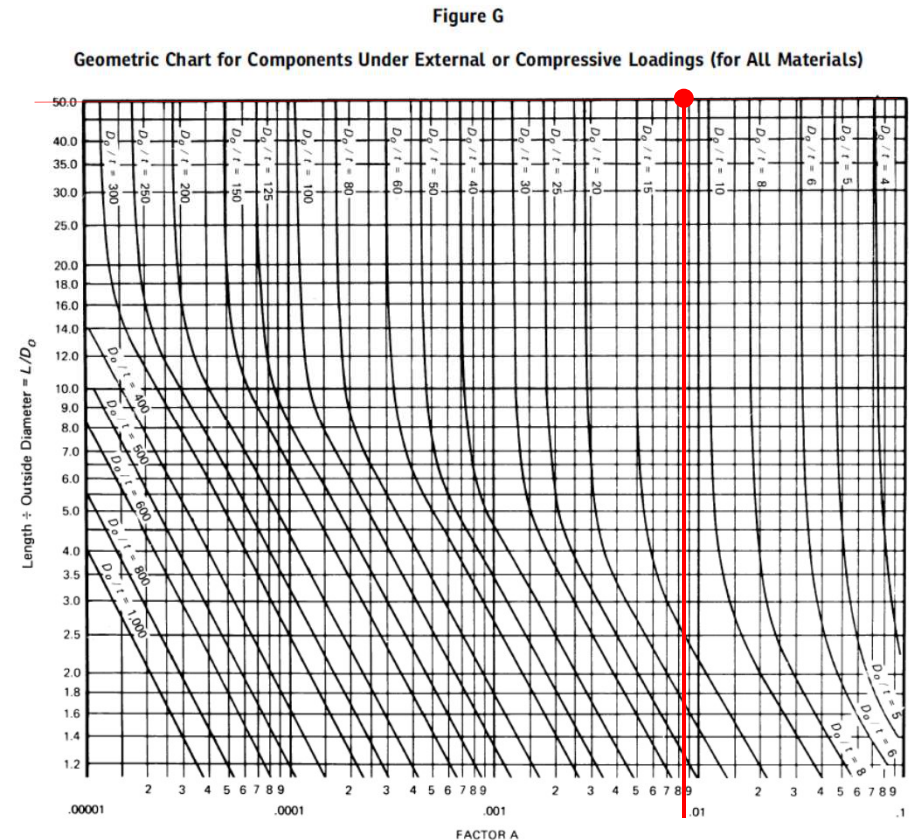
c) Tubos de humos

Paso 2. Entre en la Figura G de la Sección II, Parte D, con el valor de L/D_o determinado en el Paso 1. Para valores de L/D_o mayores a 50, entre al gráfico con un valor de $L/D_o = 50$. Para los valores de L/D_o menores a 0,05, entre al gráfico con un valor de $L/D_o = 0,05$.

$$L/D_o = \frac{2250}{38} = 59,21$$

$$D_o/t = \frac{38}{3,1} = 12,25$$

$$\text{Factor A} = 0,0081$$

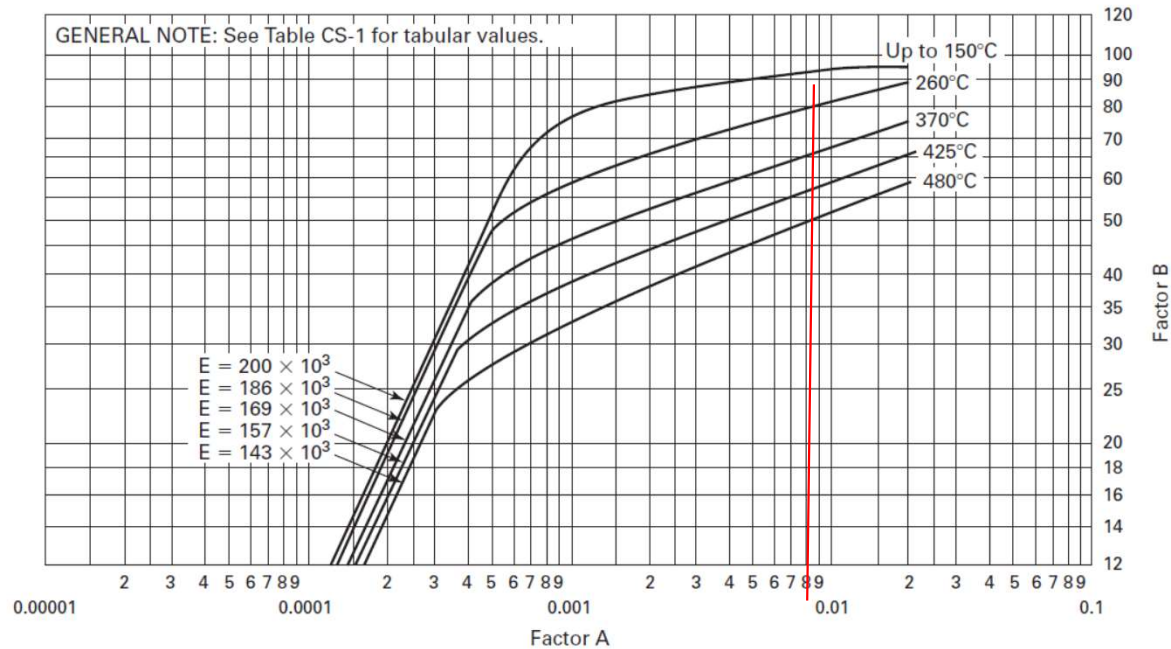


4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

c) Tubos de humos

Paso 4. Usando el valor de A calculado en el Paso 3, entre al gráfico aplicable de la Sección II, Parte D, para el material considerado. Muévase verticalmente hasta la intersección con la línea material/temperatura para la temperatura de diseño. En los casos donde el valor de A cae a la derecha del final de la línea material/temperatura, asumir una intersección con la proyección horizontal del extremo superior de la línea material/temperatura. ...

Figure CS-1
Chart for Determining Shell Thickness of Components Under External Pressure Developed for Carbon or Low Alloy Steels With Specified Minimum Yield Strength Less Than 207 MPa



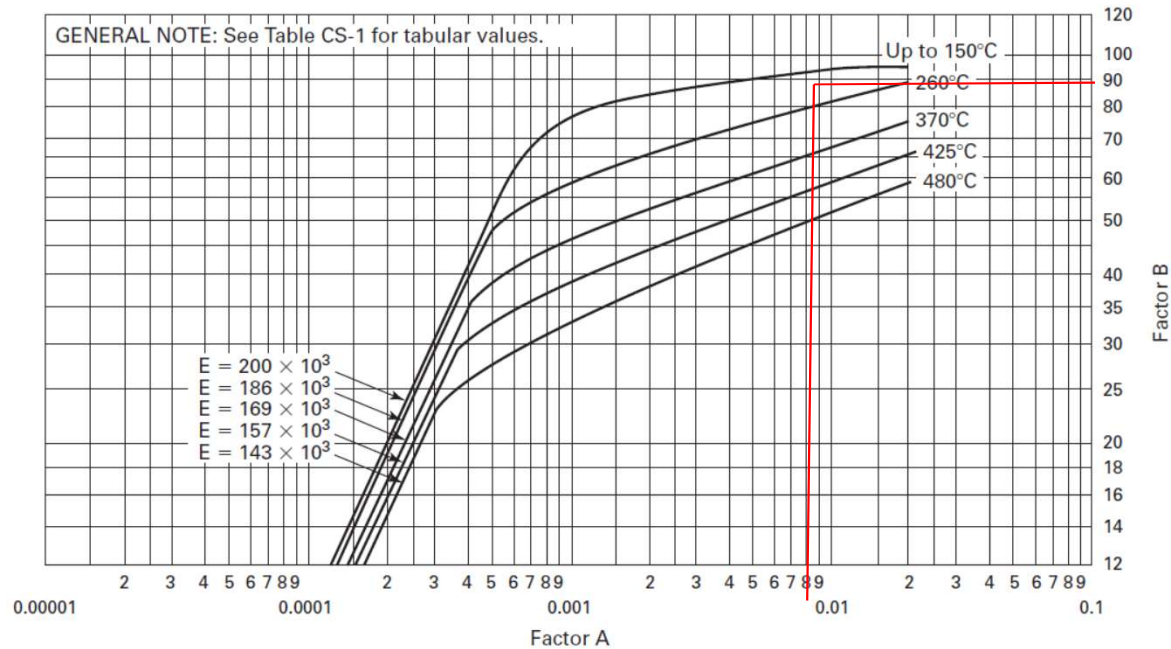
4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

c) Tubos de humos

Paso 5. Desde la intersección obtenida en el Paso 4, muévase horizontalmente hacia la derecha y lea el valor del factor B.

Factor B = 89 MPa

Figure CS-1
Chart for Determining Shell Thickness of Components Under External Pressure Developed for Carbon or Low Alloy Steels With Specified Minimum Yield Strength Less Than 207 MPa



4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

c) Tubos de humos

$$P_a = \frac{4.89}{3.38/3}$$

$$P_a = 9,68 \text{ MPa}$$

Paso 6. Usando este valor de B, calcule el valor de la presión máxima externa de trabajo admisible, P_a , usando la siguiente fórmula:

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

$P = 1,2 \text{ Mpa}$ (presión externa de diseño)

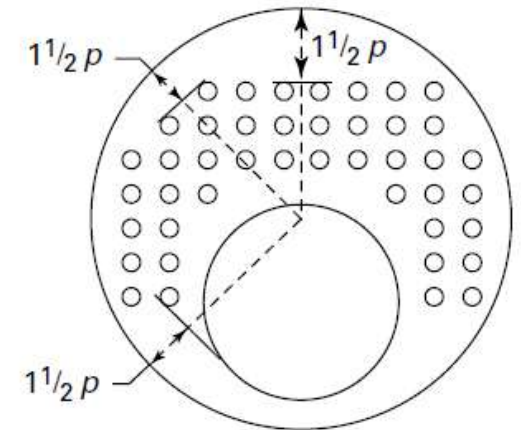
Como $P_a > P$ los tubos verifican

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

d) Placas tubulares

PFT-31 RIOSTRAS TUBO

PFT-31.1 Cuando se utilizan tubos como riostras en calderas multi-tubulares para soportar las placas tubulares, la sección transversal requerida de esos tubos deberá determinarse de acuerdo con PG-49.



4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

d) Placas tubulares

PFT-26 ÁREA SOPORTADA POR RIOSTRA

PFT-26.1 Las dimensiones del paso total de las riostras deberán ser utilizadas para determinar el área a ser soportada por una riostra, y el área ocupada por la riostra deberá restarse de esta para obtener el área neta. El producto del área neta en pulgadas cuadradas por la presión máxima admisible de trabajo en libras por pulgada cuadrada proporciona la carga a ser soportada por la riostra.

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

d) Placas tubulares

PFT-26 ÁREA SOPORTADA POR RIOSTRA

Area a ser soportada por una riostra = área del circulo con diámetro igual al paso p

$$A = \frac{\pi \cdot p^2}{4} \qquad A = \frac{\pi \cdot 75^2}{4}$$

$$A=4415 \text{ mm}^2$$

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

d) Placas tubulares

PFT-26 ÁREA SOPORTADA POR RIOSTRA

El área neta

$$A_N = A - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad A_N = 4415 - \frac{\pi \cdot 38^2}{4}$$

$$A_N = 3282 \text{ mm}^2$$

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

d) Placas tubulares

PFT-26 ÁREA SOPORTADA POR RIOSTRA

La carga soportada por una riostra

$$Carga = P \cdot A_N \quad \text{Carga} = 1,2 \cdot 3282$$

$$Carga = 3938 \text{ N}$$

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

d) Placas tubulares

PG-49 DIMENSIONES DE LOS PERNOS DE RIOSTRAS

PG-49.1 El área requerida de un perno de riostra y su sección transversal mínima deberán ser obtenidos dividiendo la carga en el perno de riostra, calculado de acuerdo con PFT-26, por el valor de la tensión admisible de acuerdo con la Tabla 1A de la Sección II, Parte D, Sub parte 1, y multiplicando los resultados por 1,10. ...

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

d) Placas tubulares

PG-49 DIMENSIONES DE LOS PERNOS DE RIOSTRAS

Área requerida

$$Area = \frac{Carga}{S} \cdot 1,1$$

$$Area = \frac{3938}{108} \cdot 1,1$$

Area requerida= 40,1 mm²

Las riostras tubo tienen área suficiente

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

Componente	Material	Tensión máxima admisible S (a 180°C), en MPa	Espesor (mm)	Dimensión (mm)
Cuerpo cilíndrico	SA 285 Gr C	108	10,1	D=1300
Hogar	SA 285 Gr C	108	11,3	D0= 600
Tubos de humos	SA 106 Gr A(*)	94,5	3,1	D0=38
Placas tubulares	SA 285 Gr C	108	17,1	p=75 d=38

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

Donde

d) Placas tubulares

PFT-31.2 El espesor requerido de la placa tubular y el paso máximo de las riostras tubo deberán calcularse con las siguientes ecuaciones:

$$t = \sqrt{\frac{P}{CS} \left(p^2 - \frac{\pi d^2}{4} \right)}$$

$$\Rightarrow P = \frac{t^2 \cdot C \cdot S}{p^2 - \frac{\pi \cdot d^2}{4}}$$

$$p = \sqrt{\frac{CSt^2}{P} + \frac{\pi d^2}{4}}$$

$$P_a = 15,46 \text{ MPa}$$

C = 2.2 para placas tubulares de más de 7/16 in. (11 mm) de espesor

d = diámetro exterior del tubo

P = presión de diseño

p = paso máximo medido entre los centros de los tubos en diferentes líneas, que pueden ser horizontales, verticales o inclinadas

S = valor de la tensión máxima admisible para el material de las placas tubulares indicado en la Tabla 1A de la Sección II, Parte D, Sub Parte 1.

t = espesor requerido de la placa tubular

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

d) Placas tubulares

PFT-31.3 No es necesario hacer ningún cálculo para determinar la disponibilidad de la sección transversal requerida o del paso máximo admisible para tubos dentro o en el perímetro de un juego de tubos que tengan una separación menor que dos veces su diámetro promedio.

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

d) Placas tubulares

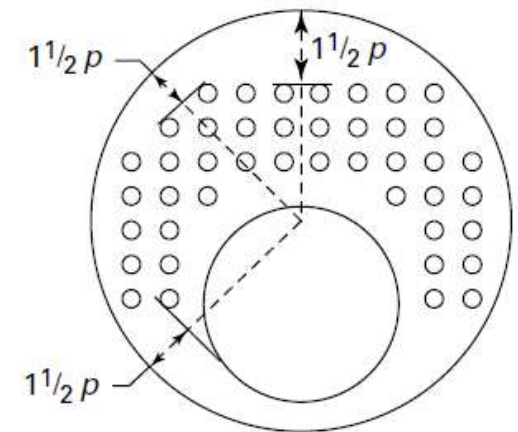
PFT-25 ARRIOSTRAMIENTO DE SEGMENTOS DE CABEZALES

PFT-25.1 Un segmento de un cabezal deberá estar arriostrado mediante riostras pasantes o riostras diagonales de cabezal a cabezal.

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

d) Placas tubulares

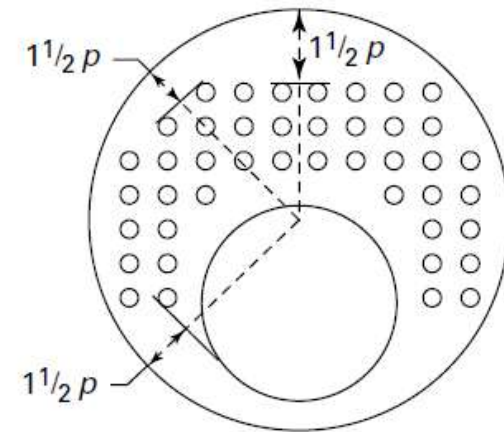
PFT-25.2 Las riostras deberán utilizarse en placas tubulares de una caldera humotubular si la distancia entre los bordes de los orificios de los tubos excede el paso máximo de los pernos de riostra para el espesor correspondiente de la placa y la presión indicado en PG-46.



4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

d) Placas tubulares

Ninguna parte de la placa tubular comprendida entre el tubo, el hogar o la cámara de desviación enfriada por agua y el cuerpo, necesita estar arriostrada si la mayor distancia medida a lo largo de una línea radial, desde la superficie interna del cuerpo hasta el punto central de la tangente a cualquier par de orificios de los tubos, o un orificio de tubo, y el hogar o la cámara de desviación enfriada por agua en el lado del cuerpo de esos orificios, no excede 1.5 veces el valor de p obtenido al aplicar la fórmula de PG-46 con C igual a 1.8 ó 1.9 dependiendo del espesor de la placa. Los orificios de los tubos, o el orificio del tubo y el hogar o la cámara de desviación enfriada por agua (vea Figura PFT-25), para los cuales se puede trazar una tangente común al aplicar esta regla, no deberán estar a una distancia mayor de borde a borde que el paso máximo al que se hace referencia.



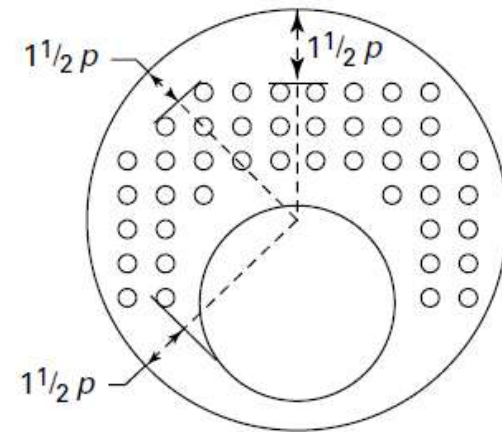
4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

d) Placas tubulares

PG-46 SUPERFICIES ARRIOSTRADAS

PG-46.1 El espesor mínimo y la presión máxima admisible de trabajo para las placas planas arriostradas y aquellas partes que por estas reglas requieran ser arriostradas como placas planas con riostras o pernos de riostra de diámetro uniforme, y espaciadas simétricamente, deberán ser calculados con las siguientes ecuaciones:

$$t = p \sqrt{\frac{P}{SC}}$$



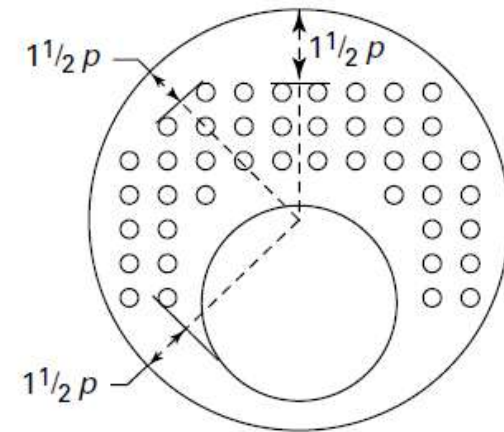
4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

d) Placas tubulares

$C = 2.2$ para las riostras soldadas o roscadas a través de placas de espesor mayor que $7/16$ in. (11 mm) con los extremos remachados

$$t = p \sqrt{\frac{P}{S.C}}$$

$$p = \frac{t}{\sqrt{\frac{P}{S.C}}} \quad p = 240,6 \text{ mm}$$



4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

e) Conexión entrada de hombre

Componente	Material	Tensión máxima admisible S (a 180°C), en MPa	Espesor (mm)	Dimensión (mm)
Cuerpo cilíndrico	SA 285 Gr C	108	10,1	D=1300
Hogar	SA 285 Gr C	108	11,3	D0= 600
Tubos de humos	SA 106 Gr A(*)	94,5	3,1	D0=38
Placas tubulares	SA 285 Gr C	108	17,1	p=75 d=38
Entrada de hombre	SA 285 Gr C	108	9,6	D=406 (16 in.)
Refuerzo EH	SA 285 Gr C	108	9,6	Dp=600

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

e) Conexión entrada de hombre

PG-43 ESPESOR DEL CUELLO DE LAS BOQUILLAS

El espesor mínimo del cuello de una boquilla (incluidas las aberturas de acceso y las aberturas para inspección) no deberá ser menor que el espesor requerido por todas las cargas aplicables. Además, el espesor mínimo del cuello de una boquilla (excepto para las aberturas de acceso y aberturas para inspección) no deberá ser menor que lo siguiente:

- (a) El espesor mínimo requerido de cuerpo sin costura a cual es fijado, más el margen por corrosión o erosión, si es aplicable
- (b) El espesor mínimo de pared del tubo estándar listado en ASME B36.10M, más un margen por corrosión o erosión, si es aplicable

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

e) Conexión entrada de hombre

PG-43 (b) El espesor mínimo de pared del tubo estándar listado en ASME B36.10M, más un margen por corrosión o erosión, si es aplicable

ASME B36.10M-2015
[Revision of ASME B36.10M-2004 (R2010)]

Welded and Seamless Wrought Steel Pipe

Table 1 Dimensions and Weights of Welded and Seamless Wrought Steel Pipe (Cont'd)

NPS [Note (1)]	Customary Units			Identification [Standard (STD), Extra-Strong (XS), or Double Extra Strong (XXS)]	Schedule No.	DN [Note (2)]	SI Units		
	Outside Diameter, in.	Wall Thickness, in.	Plain End Weight, lb/ft				Outside Diameter, mm	Wall Thickness, mm	Plain End Mass, kg/m
14	14.000	0.344	50.22	...	...	350	355.6	8.74	74.76
14	14.000	0.375	54.62	STD	30	350	355.6	9.53	81.33
14	14.000	0.406	59.00	...	...	350	355.6	10.31	87.79
14	14.000	0.438	63.50	...	40	350	355.6	11.13	94.55
16	16.000	0.250	42.09	...	10	400	406.4	6.35	62.65
16	16.000	0.281	47.22	...	...	400	406.4	7.14	70.30
16	16.000	0.312	52.32	...	20	400	406.4	7.92	77.83
16	16.000	0.344	57.57	...	...	400	406.4	8.74	85.71
16	16.000	0.375	62.64	STD	30	400	406.4	9.53	93.27
16	16.000	0.406	67.68	...	...	400	406.4	10.31	100.71
16	16.000	0.438	72.86	...	...	400	406.4	11.13	108.49

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

e) Conexión entrada de hombre

PG-44 ABERTURAS PARA INSPECCIÓN

PG-44.1 Todas las calderas o las partes de éstas deberán suministrarse con una entrada de hombre, entrada de mano, u otras aberturas para inspección adecuadas para el examen o limpieza, excepto para tipos especiales de calderas cuando dichas aberturas son evidentemente no utilizadas o innecesarias. En otros párrafos se indican los requisitos específicos para las aberturas de acceso en ciertos tipos de calderas.

...

Una abertura para entrada de hombre circular no deberá tener un diámetro menor que 15 in. (380 mm).

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

e) Conexión entrada de hombre

ABERTURAS Y COMPENSACIÓN

PG-32 Aberturas en cuerpos, colectores, y cabezales cóncavos

PG-32.1 Las reglas para las aberturas y su compensación, desde PG-32 hasta PG-39, se deberán aplicar a todas las aberturas en cuerpos, colectores, y cabezales cóncavos, excepto que se indique otra cosa en PG-29.3, PG-29.7, PG-29.12, PG-32.1.2, PG-32.1.4, PG-32.1.5, y PFT-40.

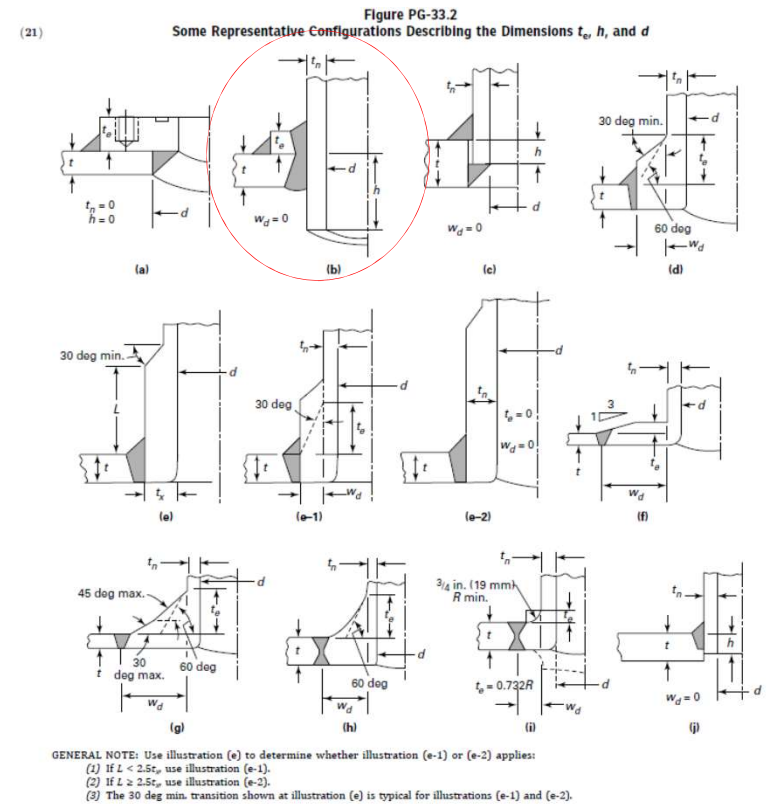
4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

e) Conexión entrada de hombre

d = diámetro de la abertura terminada en el plano considerado (ver la Figura PG-33.2)

$$d = 406,4 - 2.9,6$$

$$d = 387,2 \text{ mm}$$



4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

e) Conexión entrada de hombre

F = factor de PG-33 y de la Figura PG-33.3, el cual compensa por la variación de las tensiones debidas a la presión en los diferentes planos con respecto al eje longitudinal de un cuerpo cilíndrico. F = 1.0 para los cabezales conformados o planos

F=1

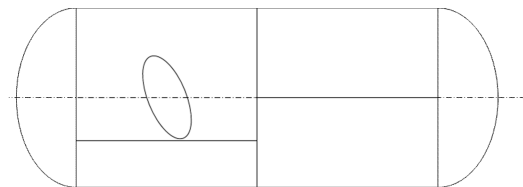
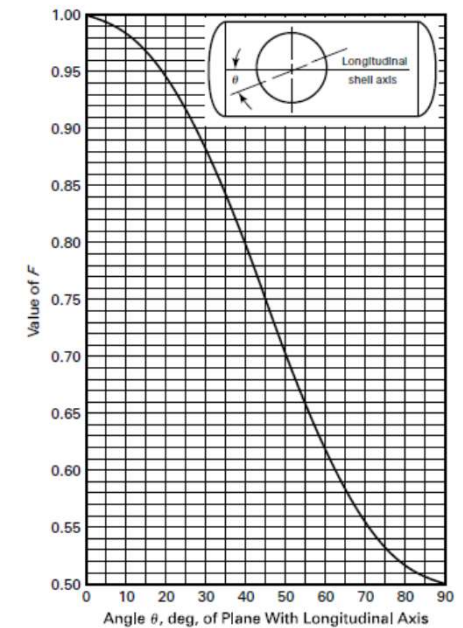


Figure PG-33.3
Chart for Determining Value of F



GENERAL NOTE: $F = 1 - 0.5 \sin^2 \theta$

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

e) Conexión entrada de hombre

t_n = espesor de pared de la boquilla (excluyendo cualquier margen por corrosión o erosión). Excepto para tubos, este es el espesor de pared sin incluir las tolerancias por conformado. Para tubos, usar el espesor nominal.

$$t_n = 9,6 \text{ mm}$$

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

e) Conexión entrada de hombre

tr = espesor requerido de un cuerpo o cabezal sin costura calculado según las reglas del Código para la presión designada, excepto cuando

$$t = \frac{PD}{2SE + 2yP} + C$$

$$t = \frac{1,2 \cdot 1300}{2 \cdot 108 \cdot 1 + 2 \cdot 0,4 \cdot 1,2} + 0$$

$$tr = 7,2 \text{ mm}$$

Esto viene de la diapositiva 17

C = NA

D = 1300

E = 1

P = presión máxima admisible de trabajo (PMTA)

S = 108 MPa

y = 0,4

t = 10,4 mm

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

e) Conexión entrada de hombre

Área disponible en el cuerpo: usar el mayor valor entre

$$\begin{aligned} \text{Área} &= A_1 = \begin{cases} (d - 2t_n)(t - Ft_r) - 2w_d(t - Ft_r)(1 - f_{r1}) \\ 2t(t - Ft_r) - 2w_d(t - Ft_r)(1 - f_{r1}) \end{cases} \end{aligned}$$

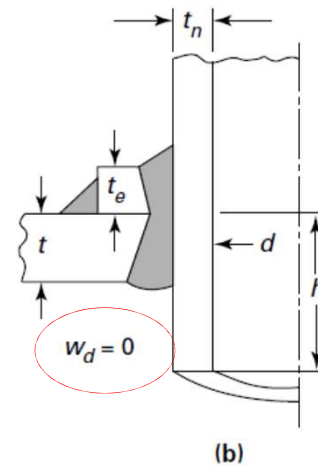
$$A_1 = (d - 2 \cdot t_n) \cdot (t - F \cdot t_r) - 0$$

$$A_1 = (387,2 - 2 \cdot 9,6) \cdot (10,1 - 1,7,2) - 0$$

$$A_1 = 2 \cdot t \cdot (t - F \cdot t_r) - 0$$

$$A = 2 \cdot 10,1 \cdot (10,1 - 1,7,2)$$

$$A_1 = 1067 \text{ mm}^2$$



$$f_{r1} = S_n/S_v$$

S_n = tensión admisible en la boquilla (ver S)

S_v = tensión admisible en el recipiente (ver S)

$f_{r1}=1$ (son los mismos materiales)

$t=10,1$ mm (espesor del cuerpo)

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

e) Conexión entrada de hombre

Área disponible en la proyección hacia afuera de la boquilla: usar el menor valor entre

$$\text{Área} = A_2 = \begin{cases} 2(t_n - t_{rn})(2^{1/2} t f_{r1}) \\ 2(t_n - t_{rn})(2^{1/2} t_n + t_e) f_{r1} \end{cases}$$

$$A_2 = 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot (2^{1/2} \cdot t \cdot f_{r1})$$

$$A_2 = 2 \cdot (9,6 - 2,24) \cdot (2,5 \cdot 10,1 \cdot 1)$$

$$A_2 = 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot (2^{1/2} \cdot t_n) \cdot f_{r1}$$

$$A_2 = 2 \cdot (9,6 - 2,24) \cdot (2,5 \cdot 9,6) \cdot 1$$

$$A_2 = 353,28 \text{ mm}^2$$

t_{rn} = espesor requerido de pared de la boquilla sin costura; obtenido por la fórmula usada para t_r para el cuerpo, omitiendo el factor C (El valor de S usado para determinar t_{rn} deberá estar basado en el material de la boquilla.) El valor de t_{rn} deberá tomarse como cero para la pared completa de los anillos de la entrada de hombre y boca de inspección que se proyecten hacia adentro con la cubierta en la parte interior.

$$t = \frac{PD}{2SE + 2yP} + C \quad t = \frac{1,2 \cdot 406}{2 \cdot 108,1 + 2 \cdot 0,4 \cdot 1,2}$$

$$t_{rn} = 2,24 \text{ mm}$$

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

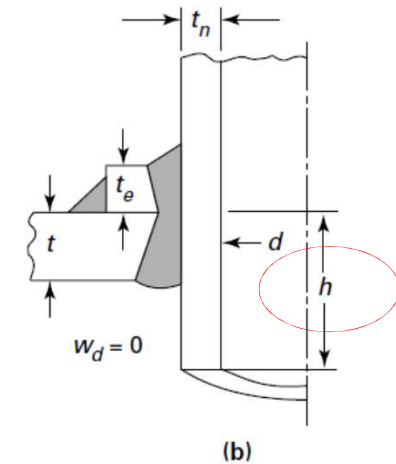
e) Conexión entrada de hombre

Área disponible en la proyección hacia adentro de la boquilla: usar el menor valor entre

$$\text{[shaded area]} = A_3 = 2t_n f_r h$$

$$A_3 = 2 \cdot 9,6 \cdot 1 \cdot 25$$

$$A_3 = 480 \text{ mm}^2$$



La boquilla se proyecta 15 mm hacia adentro, entonces $h=25$ mm

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

e) Conexión entrada de hombre

Verificación soldaduras

$$t_{min} = 9,6 \text{ mm}$$

$$t_c = 6 \text{ mm}$$

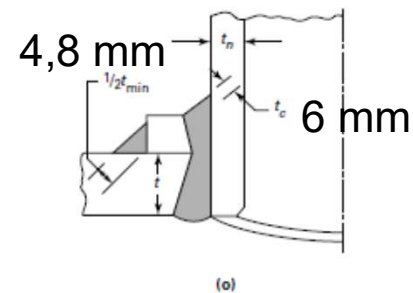
4,8 y 6,0 mm son tamaños de garganta, entonces la dimensión de la soldadura será:

Cateto o dimensión = garganta $\cdot \sqrt{2}$

$$wL1 = 8,5 \text{ mm}$$

$$wL2 = 6,8 \text{ mm}$$

Figure PW-16.1
Some Acceptable Types of Welded Nozzles and Other Connections to Shells, Drums, and Headers (Cont'd)



PW-16.2 Nomenclatura

t_c = no menor que el menor entre $\frac{1}{4}$ in. (6 mm) o $0.7 t_{min}$ (las soldaduras de esquina interior pueden ser luego limitadas por una menor longitud de la proyección de la pared de la boquilla más allá de la cara interior de la pared del recipiente).

...

t_{min} = el menor entre $\frac{3}{4}$ in. (19 mm) o el espesor de cualquiera de las partes soldadas unidas por soldadura de filete, bisel simple o soldadura simple en J

4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

e) Conexión entrada de hombre

Áreas disponibles por soldadura y por refuerzo

$$\triangle = \triangle = A_{42} = (WL_2)^2 f_{r3}$$

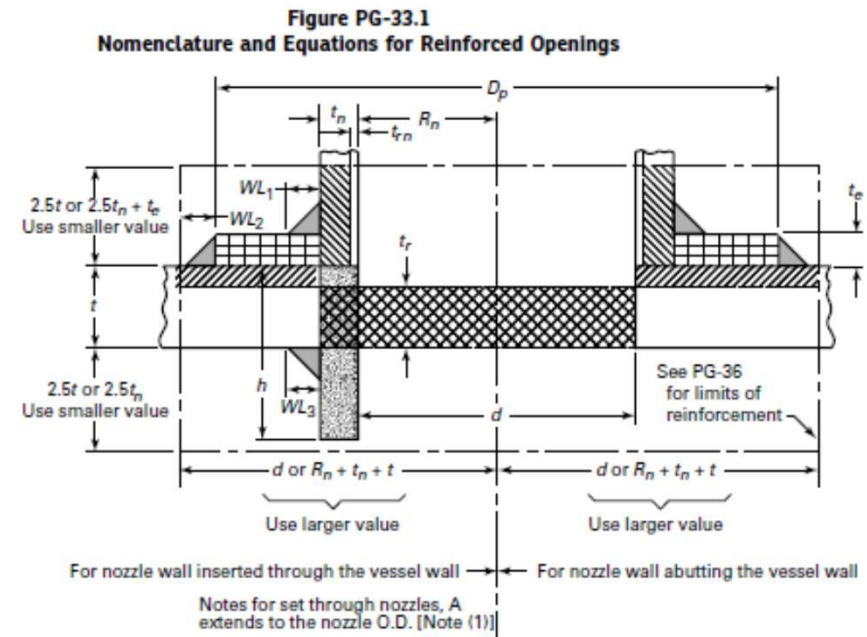
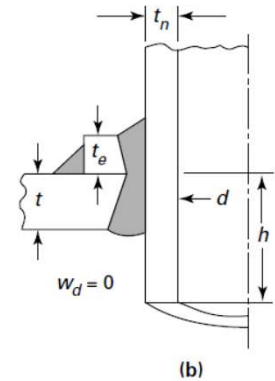
$$\square = A_5 = (D_p - d - 2t_n)t_e f_{r3}$$

$$A_{42} = (6,8^2) \cdot 1$$

$$A_{42} = 46,24 \text{ mm}^2$$

$$A_5 = (600 - 387,2 - 2 \cdot 9,6) \cdot 9,6 \cdot 1$$

$$A_5 = 1858,56 \text{ mm}^2$$



4- Determinar la PMTA de los componentes deteriorados

e) Conexión entrada de hombre

Verificación

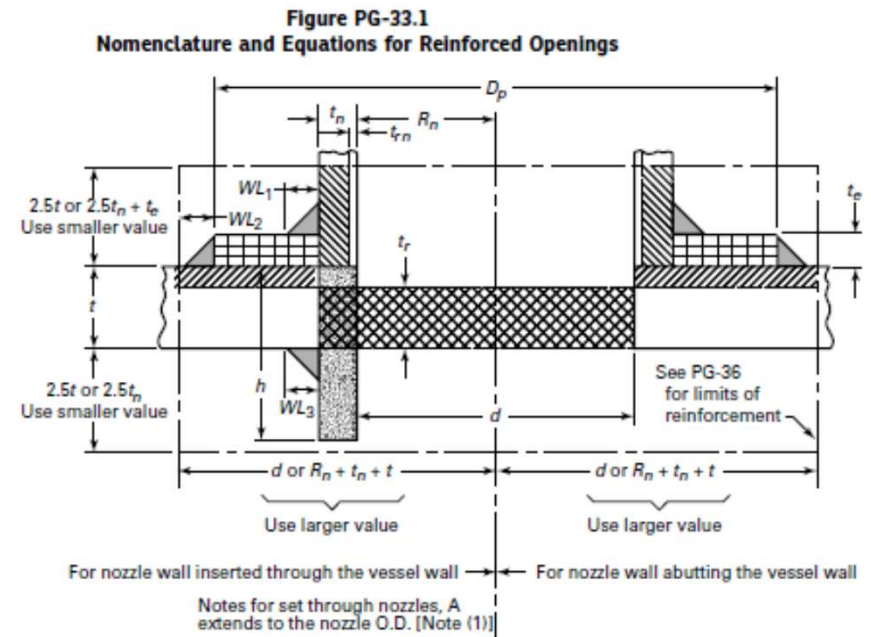
$$\text{Si } A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + A_5 > A$$

La abertura está reforzada adecuadamente

$$1067 + 353,28 + 480 + 72,25 + 46,24 + 1858,56 = 3877,3 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área requerida} = 5711 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área disponible} = 3877,3 \text{ mm}^2$$



La abertura no está reforzada adecuadamente

¡Muchas gracias!

