

Introducción a la sección I “Reglas para la construcción de calderas de potencia” del Código ASME 2023 para calderas y recipientes a presión

Ing. Pablo Barral[†]

Sistemas de Almacenamiento

4 de agosto de 2024

Resumen

Esto es el resumen del texto.

Palabras clave: ASME, BPVC, calderas.

Disclaimer: El contenido de este apunte tiene como única finalidad ser una introducción somera al código en el marco de una asignatura de grado, apoyándose en una exposición oral. Este apunte no constituye, bajo ningún tipo de concepto, un reemplazo del código, ni en su versión 2023 ni en la última vigente. Este apunte no sustituye de ninguna manera al juicio criterioso en el diseño ni a las reglas del buen arte y la experiencia en el diseño, la fabricación, el ensayo, la inspección y la operación. El autor no asume responsabilidad por ninguna acción tomada basada en la información proporcionada en este apunte, y prohíbe enfáticamente el uso de este apunte para el diseño. Finalmente, se recuerda que el diseño de recipientes a presión sin una validación empírica o siguiendo los lineamientos de un ente reconocido constituye un serio peligro para la seguridad, la integridad de los equipos y las instalaciones y la vida de las personas, con consecuencias posiblemente fatales o incapacitantes de modo permanente.


1. Introducción

1.1. alcance del código

Acá hablar de la estructura

Poner qué es y qué no es el código.

Cómo interactúa con un mercado, con un arbitraje, que es diseño y fabricación, estampas parciales y completas.

[†]Departamento de Ing. Mecánica, Universidad de Buenos Aires; pbarral@fi.uba.ar; 

La diferencia con hacer un hermoso cálculo con la teoría de las cáscaras o con los elementos finitos, pero hay partes que después quedan descubiertas. El código es integral.

Código es como empírico, ojo con los márgenes que toma, ASME lo cambia, y los americanos son conocidos por sobredimensionar. Los europeos lo hicieron mejor y tuvieron que achicar el margen de seguridad.

1.2. calderas acuotubular y pirotubular

Mostrar caldera paquete, fotos, mostrar fotos internas de domos



Figura 1: TBD.

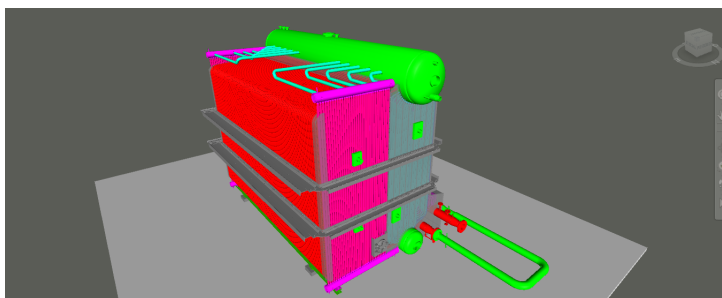


Figura 2: TBD.

1.3. limites de jurisdiccion

diferenciar con codigo ASME B31.1

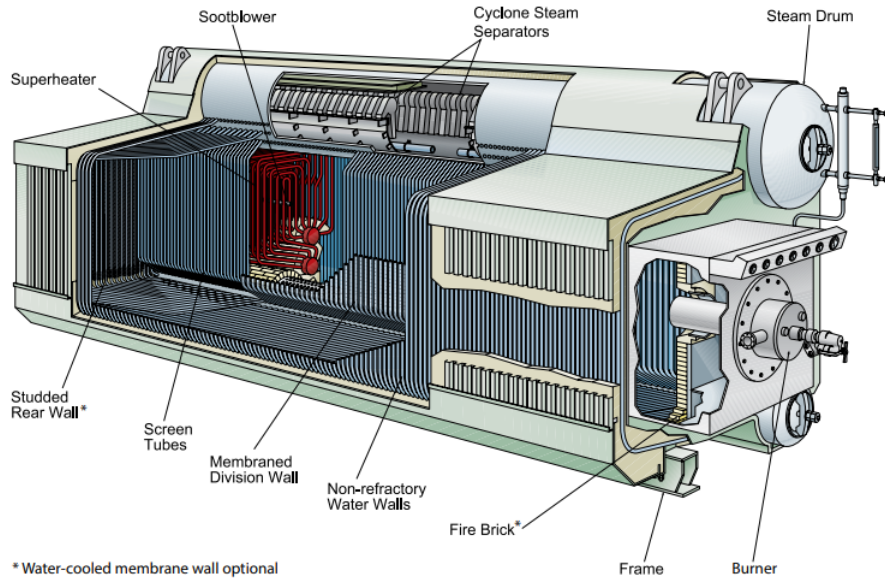


Figura 3: TBD.

2. Diseño

2.1. Componentes cilíndricos bajo presión exterior

El código indica, en el apartado **PG-27.2.2**, la expresión que debe utilizarse para determinar el espesor mínimo requerido para los caños (*piping*), los domos (*drums*), las envueltas (*shells*) y los colectores (*headers*).

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S \cdot E + 2 \cdot y \cdot P} + C \quad (1)$$

Aquí:

- **D** es el diámetro exterior del componente cilíndrico. Una denominación alternativa es **OD** (*outside diameter*).

El diámetro que debe utilizarse es el real, no el nominal. La unidad en que debe expresarse en la ecuación 1 es mm.

Por ejemplo, para un caño de NPS = 10 in (*nominal pipe size*), el diámetro nominal es DN = 250 mm mientras que el diámetro exterior es OD = 273,1 mm. En este ejemplo, este último es el que debe utilizarse.

Estos diámetros se establecen en el estándar **ASME B36.10M**, representando la M al estándar en el sistema métrico.

- **P** es la máxima presión admisible de trabajo (*MAWP* o *maximum allowable working pressure*). La presión que debe utilizarse, interna en este caso, es la manométrica o relativa al ambiente, ya que el esfuerzo sobre la pared del componente se genera a partir de la diferencia de fuerzas entre las originadas por la presión absoluta interior y la exterior (la atmosférica).



Figura 4: *TBD*.

Su definición se encuentra en el apartado **PG-21**. La unidad en que debe expresarse en la ecuación 1 es MPa(g).

- **S** es la máxima tensión admisible a la temperatura de diseño del metal. En el apartado **PG-23** se indica que este valor máximo de tensión admisible puede encontrarse en la **sección II, parte D, subparte 1, tablas 1A y 1B** del **BPVC**.

La unidad en que debe expresarse en la ecuación 1 es MPa.

Más detalles pueden encontrarse en el apartado **PG-27.4.2**.

- **E** es un valor adimensional denominado eficiencia. Más detalles pueden encontrarse en el apartado **PG-27.4.1**.
- **y** es un coeficiente adimensional de temperatura. Más detalles pueden encontrarse en el apartado **PG-27.4.6**.
- **C** es un ajuste o margen mínimo para que el componente tenga rigidez estructural (por ejemplo, que no sea sensible a posibles abolladuras por golpes en la manufactura, el transporte, en el caso de que algún operario se pare sobre este), y para tener en cuenta el roscado.

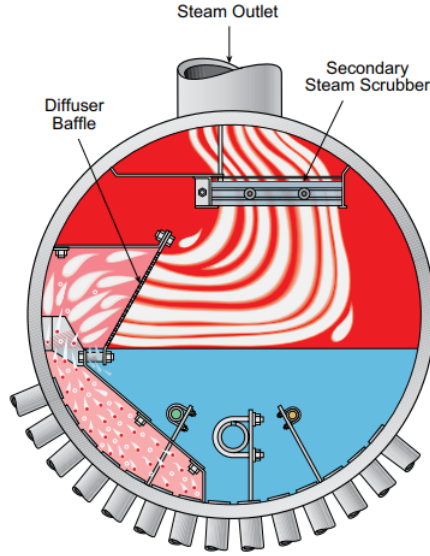


Figura 5: TBD.

Este margen se suma de manera directa, es un agregado al espesor requerido por el cálculo basado en la presión, el diámetro, la tensión admisible, la eficiencia y el coeficiente de temperatura.

Más detalles pueden encontrarse en el apartado **PG-27.4.3**.

En **PG-27.4.3** se establece que C no incluyen ningún margen por una posible corrosión o erosión, por lo que este margen debe aplicarse en los casos en que sea necesario.

El código indica, en el mismo apartado, la expresión que debe utilizarse para determinar el espesor mínimo requerido a partir del radio interior (en lugar de determinarlo respecto del diámetro exterior). Además, incluye las expresiones para determinar la presión interior máxima admisible de trabajo que soportan los componentes a partir de su espesor, tanto para el caso en que se conoce el diámetro exterior como el caso en que se conoce el radio interior.

2.1.1. Relación con los esfuerzos teóricos

La ecuación 1 puede relacionarse con la expresión de cálculo de la tensión en la dirección circunferencial σ_θ (*hoop or circumferential stress*), a veces llamada tensión tangencial, para un cilindro de pared delgada sometido a una presión interior manométrica o relativa al ambiente:

$$\sigma_\theta = \frac{P \cdot d}{2 \cdot t} \quad (2)$$

Reagrupando,

$$t = \frac{P \cdot d}{2 \cdot \sigma_\theta} \quad (3)$$

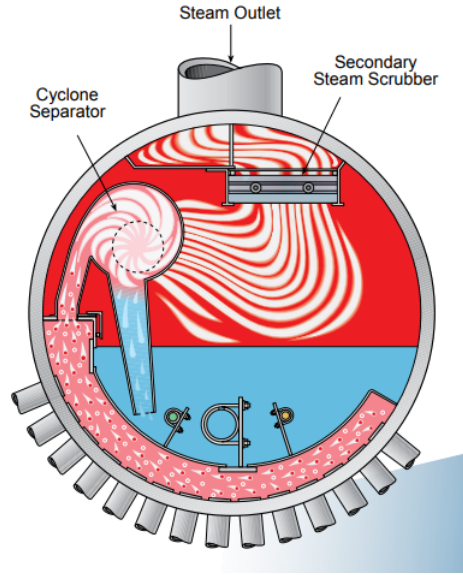


Figura 6: TBD.

La expresión 2 se deriva de un equilibrio estático de fuerzas entre la inducida por la presión interior (calculada a partir de la superficie proyectada) y la tensión que se genera en el espesor, por lo que aquí d es el diámetro interior. Ver la figura 8.

Un recipiente puede considerarse de pared delgada si el diámetro es, al menos, unas 20 veces el diámetro. Por lo tanto, para estos casos, la diferencia entre adoptar d como el diámetro interior o exterior es despreciable.

La tensión en la dirección longitudinal σ_L (*longitudinal stress*), en el caso de que el cilindro tenga tapas, se calcula como

$$\sigma_L = \frac{P \cdot d}{4 \cdot t} \quad (4)$$

La expresión 4 se deriva de un equilibrio estático de fuerzas entre la inducida por la presión interior (calculada a partir de la superficie proyectada) y la tensión que se genera en el espesor, por lo que aquí d es el diámetro interior. Ver la figura 9.

Para un recipiente de pared delgada, la tensión en la dirección radial σ_r (*radial stress*) es mucho menor que las otras dos tensiones, y puede desestimarse. Por lo tanto, el sistema conforma un estado plano de tensiones perpendiculares entre sí, siendo σ_θ y σ_L las tensiones principales de ese sistema.

Nota importante: Si bien las ecuaciones 1 y 2 están relacionadas, la que debe utilizarse al diseñar según el código es 1, ya que esta contiene las características del material y sus propiedades, los efectos de la merma de resistencia del material por el efecto de la temperatura de diseño, la adopción de un coeficiente de seguridad, el debilitamientos en el caso de que el cilindro esté agujereado, el debilitamiento por las costuras de la soldadura, la adopción de un margen para

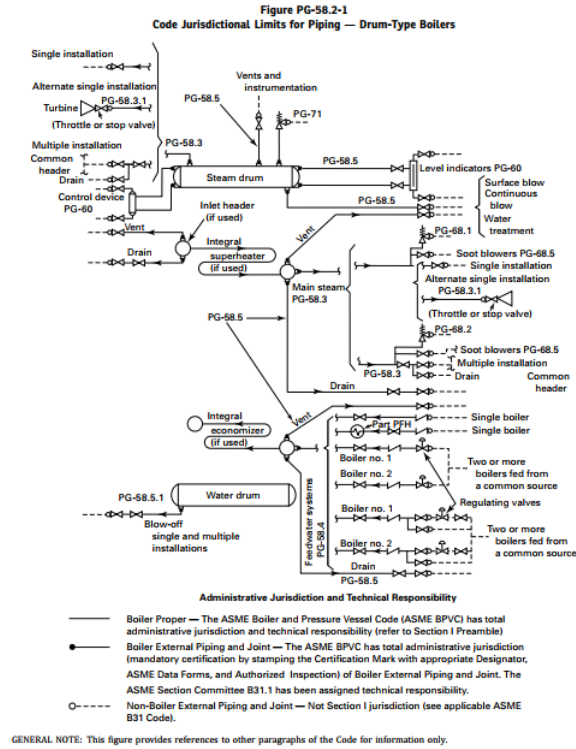


Figura 7: *Límite de la jurisdicción del BPVC para las cañerías. Para calderas con domo.*

una resistencia estructural propia ante golpes o abolladuras, el efecto del estado plano de tensiones, etc.

2.1.2. Ejemplo de cálculo

Supongamos que se quiere dimensionar el espesor del domo de una caldera acotubular. Consideremos una $MAWP = 75 \text{ bar(g)}$, una temperatura de diseño $T = 290^\circ\text{C}$, que el diámetro exterior es $D = 69,5 \text{ in} = 1765,3 \text{ mm}$ que el material es SA-516 Gr. 70 y, únicamente para los fines de este ejemplo, que el domo no posee costuras de soldadura.

Determinando la eficiencia, el coeficiente de temperatura, la máxima tensión admisible a la temperatura de diseño del metal y considerando que no debe adicionarse el margen C , al reemplazar en 1, resulta

$$t = \frac{7,5 \text{ MPa(g)} \cdot 1765,3 \text{ mm}}{2 \cdot 137,6 \text{ MPa} \cdot 1,0 + 2 \cdot 0,4 \cdot 7,5 \text{ MPa(g)}}$$

$t = 47,08 \text{ mm}$

2.2. Material

Acá quiero mostrar:

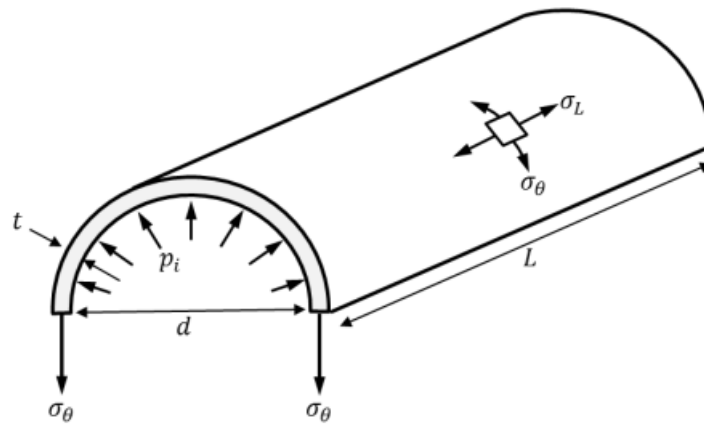


Figura 8: *Cilindro sometido a una presión interior.*

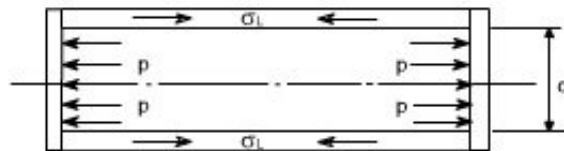


Figura 9: *Cilindro sometido a una presión interior.*

1. La limitación de que el material tiene que estar en ASME II. PG-5.
2. Para chapa (plate), veo PG-6.
3. Para el ejemplo, dar las características del acero que utilizo. Sus valores de resistencia mecánica, las notas que lo rigen, el gráfico que hice, el valor de resistencia mecánica. ASME Parte 2
4. Los apéndices no mandatorios del código ASME II sobre grafitización.
5. La composición y el estándar ASTM que me rige. Esta en ASME II Parte A.
6. Valor máximo de temperatura debe respetarse, a pesar de que esté listadas más temperaturas.
7. En nota general de tabla IA me permite interpolar.
8. STATEMENT OF POLICY ON INFORMATION PROVIDED IN THE STRESS TABLES. Acá figura esto del limite de temperatura, que no debe superarse. Ponerlo como nota al pie, o algo ais.
9. Marcar que el código ya nos da los coeficientes de seguridad. Comparar la tensión que usamos contra el valor informado de fluecnia y de resistencia mecánica.

10. Dar las características completas del material. Mencionar que está incorporado el estándar ASTM.
11. El estándar ASTM está asociado a la forma en la que el material es comercializado (si es en chapa o barras, por ejemplo).
12. Cada estándar tiene grados, que se relacionan con la resistencia.
13. Creo que el código permite interpolar pero con la misma cantidad de decimales que el valor más chico, por lo que acá si no tengo decimales redondeo a 138. Hacer la cuenta con 138.
- 14.

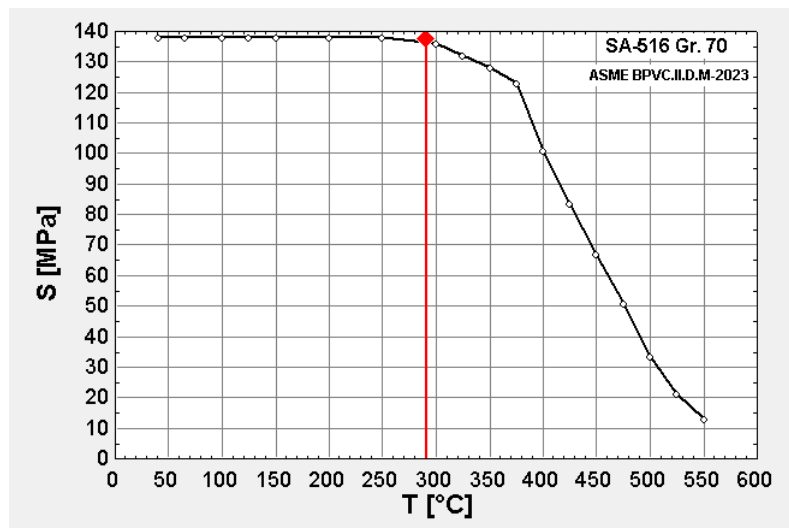


Figura 10: *TBD*.

2.3. MAWP

2.4. Temperatura de diseño

2.5. Tensión admisible

2.6. Eficiencia

2.7. Coeficiente de temperatura

1. Acá voy a poner la temperatura de diseño

T [°C]	S [MPa]
40	138
65	138
100	138
125	138
150	138
200	138
250	138
300	136
325	132
350	128
375	123
400	101
425	83,8
450	67,1
475	51,0
500	33,6
525	21,3
550	12,9

Cuadro 1: Poner qué es. De dónde la extraigo. Poner el limite de uso que figura, para usos según código asme I.

3. Ligamentos

4. Derivaciones y compensaciones

5. Válvulas de seguridad

6. Comentarios finales y conclusiones

Poner aca todo lo que dejamos por afuera, o mencionar algunas de las partes.
Concluir algo.

7. Anexo

7.1. Incluir Archivo Binario

Puedes descargar el archivo binario haciendo clic en el enlace a continuación:



graph.EES

Índice

1. Introducción	1
1.1. alcance del código	1
1.2. calderas acuotubular y pirotubular	2
1.3. limites de jurisdiccion	2
2. Diseño	3
2.1. Componentes cilíndricos bajo presión exterior	3
2.1.1. Relación con los esfuerzos teóricos	5
2.1.2. Ejemplo de cálculo	7
2.2. Material	7
2.3. MAWP	9
2.4. Temperatura de diseño	9
2.5. Tensión admisible	9
2.6. Eficiencia	9
2.7. Coeficiente de temperatura	9
3. Ligamentos	10
4. Derivaciones y compensaciones	11
5. Válvulas de seguridad	12
6. Comentarios finales y conclusiones	13
7. Anexo	14
7.1. Incluir Archivo Binario	14

Referencias

- [1] ASME (2023), *Boiler and Pressure Vessel Code (An International Code) - Section I "Rules for Construction of Power Boilers"*, ASME.
- [2] ASME (2023), *Boiler and Pressure Vessel Code (An International Code) - Section II "Materials" - Part A "Ferrous Material Specifications Volume 1 & 2"*, ASME.
- [3] ASME (2023), *Boiler and Pressure Vessel Code (An International Code) - Section II "Materials" - Part D "Properties (Metric)"*, ASME.
- [4] ASME (2023), *Boiler and Pressure Vessel Code (An International Code) - Section VII "Rules for Construction of Pressure Vessels" - Division 1*, ASME.
- [5] MacKay, J. & Pillow, J. (2011), *Power Boilers - A guide to Section I of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code*, 2nd ed., ASME Press.
- [6] Rao, K. R. (ed.) (2018) *Companion Guide to the ASME Boiler and Pressure Vessel Codes - Vol. 1*, 5th ed., ASME Press.