

4. DISEÑO DEL AUTOCLAVE

Como ya se mencionó en otros capítulos, el objetivo de cocer el agave es para efectuar la transformación de los polisacáridos contenidos en el mismo, en azúcares fermentables.

El equipo que se propone para la operación de cocción consiste en un autoclave a presión, usando como medio de calentamiento la inyección directa de vapor saturado. Su forma es cilíndrica horizontal y será construido de acero inoxidable, el cilindro descansará sobre dos silletas y la forma de cierre será con tapas torisféricas. A continuación se muestran los resultados obtenidos para su diseño.

4.1. Diseño Mecánico

4.1.1. Volumen del Autoclave

El diseño se hizo partiendo de la base de cálculo de 1200 Kg /día, (2645.52 lb/pie³), y del calendario de operaciones.

$$2645.52 \frac{\text{lb}}{\text{día}} \cdot 6 \frac{\text{día}}{\text{semana}} = \frac{15873.12 \text{ lb}}{3 \text{ cocimientos/semana}} = 5291 \frac{\text{lb}}{\text{cocimiento}}$$

En [8] y [11] se menciona que la densidad promedio del agave es de 27.18 lb/pie³ por lo que,

$$V_{\text{agave}} = \frac{5291 \text{ lb}}{27.18 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3}} = 194.67 \text{ pie}^3$$

Si se emplea una junta de soldadura a tope o yuxtapuesta, la eficiencia reportada en la Tabla 13.2 de [12] es del 80%.

DISEÑO DE AUTÓCLAVE

$$V_{\text{autoclave}} = \frac{V_{\text{agave}}}{n} - (V_{\text{agave}} * C) \quad (4.1)$$

Donde C es la compresibilidad del agave y que es igual al 20% del volumen aparente [11], tenemos:

$$V_{\text{autoclave}} = \frac{194.67 \text{ pie}^3}{0.80} - (194.67 \text{ pie}^3 * 0.20)$$

$$V_{\text{autoclave}} = 204.40 \text{ pie}^3$$

4.1.2. Dimensiones del Autoclave

Si tomamos el criterio $\frac{L}{D} = 2$ [11]

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 L \quad (4.2)$$

Sustituyendo en L:

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 (2D) \quad (4.3)$$

$$V = \frac{\pi}{2} D^3 \quad (4.4)$$

Substituimos V en (4.4) para encontrar D

$$D = 5.06 \text{ pie}$$

$$R = 2.53 \text{ pie}$$

Pero utilizaremos el D = 5 pie pues es más fácil encontrar placas que se manejen con las siguientes dimensiones: 5' x 10' hasta 5' x 20' [17].

DISEÑO DE AUTOCLAVE

El largo de casco se obtendrá sustituyendo D en (4.2)

$$204.40 \text{ pie}^3 = \frac{\pi}{4} D^2 L$$

$$L = \frac{(4 * 204.4 \text{ pie}^3)}{\pi (5 \text{ pie})^2}$$

$$L = 10.41 \text{ pie}$$

4.1.3. Selección del Material de Construcción del Casco Cilíndrico

El material de construcción será con inoxidable austenítico, de acuerdo al cuadro de Resistencia Química de los Metales en [14], en el que se muestra que para recipientes contenedores de azúcar de remolacha, se recomienda el empleo de Aceros inoxidables tipo 304, 316, 347, Carpenter "20" y Hastelloy "B" o "C". Siendo los tres últimos de alto costo, por lo que se decidió que fuera el acero austenítico AISI 304L, el cual es equivalente al ASTM A-240-340 L. A continuación se muestra la tabla con las propiedades de este acero [14].

ASTM A-240-340 L		
Esfuerzo a la cedencia	$25 \times 10^3 \text{ lb/plg}^2$	
Esfuerzo mínimo a la tensión	$70 \times 10^3 \text{ lb/plg}^2$	
Esfuerzo máximo permisible en tensión (S)	200 °F	300 °F
	15.7×10^3 lb/plg ²	15.3×10^3 lb/plg ²

Tabla 8. Propiedades mecánicas del acero.

DISEÑO DE AUTOCLAVE

Para poder conocer el esfuerzo máximo permisible S , los datos que vienen en la Tabla 8 se interpolan para una Temperatura de Diseño T_d , y éstas se obtienen con las ecuaciones siguientes:

$$T_d = T_{\text{máx. operación}} + 25^\circ\text{F} \quad [13] \quad (4.5)$$

$$P_d = 1.2 P_{\text{máx. operación}} \quad (4.6)$$

Para llevar a cabo la cocción del agave se necesita vapor saturado a 250.33°F y $30.0 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}$ de presión, por lo que nuestra temperatura de operación será ésa.

Sustituyendo los datos en (4.5) y (4.6):

$$T_d = (250.33^\circ\text{F} + 25^\circ\text{F}) = 275.33^\circ\text{F}$$

$$P_d = \left(1.2 * 30 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}\right) = 36 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}$$

Interpolando para S a una temperatura de diseño de 275.33°F , se tiene un valor de 15601.3 lb/plg^2 .

4.1.4. Diseño de Casco

4.1.4.1. Espesor Requerido, de Diseño y Nominal

La ecuación para determinar el espesor requerido del casco cilíndrico, ec. (4.7), está expresada en función de las dimensiones interiores del mismo.

$$e_r = \frac{P_d R}{SE + 0.4P_d} \quad (4.7)$$

DISEÑO DE AUTOCLAVE

Donde E es la eficiencia de la junta y que corresponde a 100% pues no se tendrán muchas costuras [13].

Substituyendo en (4.7) se tiene que el espesor requerido

$$e_r = \frac{36 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} * 30 \text{ plg}}{\left(15601.3 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} * 1\right) + \left(0.4 * 36 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}\right)} = 0.081 \text{ plg} \approx \frac{3}{32} \text{ plg}$$

El espesor de diseño es la suma del requerido e_r , y el espesor extra por corrosión, c . [13].

$$e_d = e_r + c \tag{4.8}$$

Y aunque no se tenga un criterio para c , en [14] se menciona que un desgaste por corrosión de 5 milésimas de pulgada (1/16 de pulgada) es satisfactorio.

Substituyendo en (4.8):

$$e_d = \left(\frac{3}{32} \text{ plg} + \frac{1}{16} \text{ plg}\right) = \frac{5}{32} \text{ plg}$$

En la literatura se conoce que si se tiene un recipiente operando a presión interna o externa, ya sea para el cuerpo cilíndrico o para las tapas, el espesor de diseño no deberá ser menor de 3/16 plg [13], por lo que nuestro espesor de diseño será de esa dimensión, 3/16 plg.

Ahora bien, el espesor nominal es aquél que se selecciona entre los disponibles comercialmente y debido a que el espesor de diseño corresponde a uno que es común en el mercado, se elige como espesor nominal el de diseño.

4.1.4.2. Peso de Acero en el Casco

El cálculo del peso de acero en el casco se realiza de la siguiente manera:

$$P_{ac} = \frac{\pi L}{4} (d_e^2 - d_i^2) * \rho_{acero} \quad (4.9)$$

donde:

d_e = diámetro exterior del casco, plg

d_i = diámetro interior del casco, plg

ρ_{acero} = densidad del acero, lb/pie³

$$\rho_{acero} = 489.526 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3} \quad \text{Tabla 3-118 de [15]}$$

Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación anterior:

$$P_{ac} = \frac{\pi * 10.41 \text{ pie}}{4} [(5 \text{ pie})^2 - (4.96875 \text{ pie})^2] * 489.526 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3}$$

$$P_{ac} = 1246.83 \text{ lb}$$

4.1.5. Selección de Tapas y Material de Construcción

En el diseño de recipientes a presión se tienen varios tipos de tapas, van desde las planas, torisféricas, elípticas, esféricas, hemisféricas, modificadas, cónicas entre otras. Su diferencia radica en el tipo de recipiente que se desee cubrir, la función del recipiente, las condiciones de operación y fluidos a contener.

En la Tabla 9 se muestran las posibles tapas a utilizarse, las ventajas, las limitantes y condiciones de fabricación de cada una de ellas para poder hacer una adecuada selección [13].

DISEÑO DE AUTOCLAVE

Tapa	Intervalo de Presión	Dimensiones Recomendadas	Tipo de Recipientes	Usos	Observaciones
Plana	Muy bajas- 10 lb/plg ²	4-10 pie de diámetro	Horizontales atmosféricos	Almacenamiento de fluidos con densidad cercana a la del agua.	Para recipientes de diámetros mayores, no conviene su uso, aún a presiones menores de 1 lb/in ² , el espesor necesario resulta excesivo.
Abombada fuera de código	Muy bajas- 15 lb/plg ²	De gran diámetro	Atmosféricos	Almacenamiento	Están fuera de código, por lo que el diseñador y usuarios no tienen protección en procedimientos y revisiones.
Toriférica	15 - 200 lb/plg ²	$icr \geq 0.06d_o$ $icr > 3 e_t$ $r_s \leq d_o$	-----	Operación a presión interna	Económicas para ese intervalo de presiones. Se diseñan basándose en el espesor exterior del casco cilíndrico
Elíptica	150-600 lb/plg ²	Sin limitaciones	-----	Operaciones a presiones elevadas	No es económica
Hemisférica	400 lb/plg ² - adelante	Desde 12 plg - 94 plg de diámetro y espesores desde 3/8 plg - 3 1/2 plg	-----	Ideal para cierre de recipientes cilíndricos a presión	Alto costo de fabricación, pero menor que las elípticas

Tabla 9. Tipo de tapas, usos y descripciones.

Se puede observar que las tapas Toriféricas representan una buena opción para el cierre de nuestra autoclave, pues la P_d del proceso (36.0 lb/plg²) se encuentra en el intervalo de presiones recomendadas para éstas, además de ser económicas.

DISEÑO DE AUTOCLAVE

En la siguiente Figura se muestra un bosquejo de una tapa torisférica, en ella se indican los parámetros de su diseño.

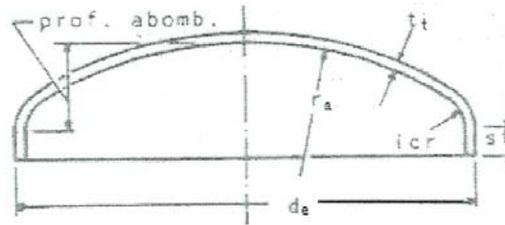


Figura 17. Tapa torisférica.

Donde:

Prof. abomb. = Profundidad de abombado

r_a = Radio de abombado, plg

d_e = Diámetro exterior de la tapa, plg

icr = Radio interior de transición, plg

sf = Longitud de ceja recta, plg

En el diseño de estas tapas habremos de manejar dimensiones exteriores del casco, las dimensiones calculadas hasta este momento son:

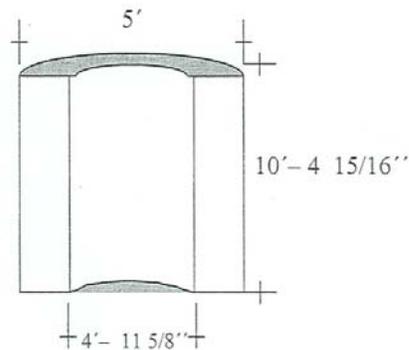


Figura 18. Bosquejo del casco cilíndrico con sus dimensiones.

4.1.6. Diseño de Tapas

4.1.6.1. Espesor de Diseño en Tapas

El material que se usará para la construcción de las tapas es el mismo que el del casco, ASTM A-240-340L por lo que el esfuerzo máximo permisible es el mismo 15601.3 lb/plg².

Ahora bien, con el espesor del casco, 3/16 plg, y con la tabla C2 del Apéndice C de [13], se encuentran los valores de r_a , icr y sf , los cuales se presentan en la Tabla 10.

d_c (plg)	r_a (plg)	icr (plg)	sf (plg)
60	60	3 5/8	3

Tabla 10. Parámetros de diseño de tapa torisférica.

La ecuación para encontrar espesor de diseño de tapa es la siguiente:

$$e_{id} = \frac{P_d r_a W}{2SE + P_d(W - 0.2)} + c \quad (4.10)$$

donde W representa el Factor de intensificación de esfuerzos y éste se obtiene de la Tabla 4.2 en [13].

$$\frac{r_a}{icr} = \frac{60}{3.625} = 16.55$$

Como el valor para r_a/icr es igual a 16.55, se interpola linealmente W a ese valor.

r_a/icr	W
16.00	1.75
16.55	1.76
16.66	1.77

Sustituyendo en (4.10) con $c = 1/16$ plg tenemos:

$$e_{td} = \frac{\left(\frac{36.0 \text{ lb}}{\text{plg}^2} * 60 \text{ plg} * 1.76 \right)}{\left(2 * 15601.3 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} * 1 \right) + \left(\frac{36.0 \text{ lb}}{\text{plg}^2} (1.76 - 0.2) \right)} + \frac{1}{16} \text{ plg}$$

$$e_{td} = 0.184 \text{ plg} \approx \frac{3}{16} \text{ plg}$$

Ahora, se comprueba que los valores obtenidos cumplan con las limitaciones para la tapa torisférica:

1. $icr \geq 0.06 d_e$, donde $icr = 3.625$ plg y $d_e = 60$ plg
 $0.06 * 60 \text{ plg} = 3.6$ $3.625 \text{ plg} \geq 3.6 \text{ plg}$

2. $icr > 3 e_{td}$, donde $e_{td} = 3/16$ plg
 $(3 * 3/16 \text{ plg}) = 0.5625 \text{ plg}$ $3.625 \text{ plg} > 0.5625 \text{ plg}$

3. $r_a \leq d_e$, donde $r_a = 60$ plg y $d_e = 60$ plg
 $60 \text{ plg} = 60 \text{ plg}$

Podemos ver que se cumplen las tres condiciones por lo cual el espesor de la tapa torisférica será de $3/16$ plg.

4.1.6.2. Diámetro Plano de Tapas

Siendo el espesor definitivo de la tapa menor a 1 plg, para determinar el diámetro plano se utiliza:

$$d_p = 1.0416 d_e + 2(sf + icr/3) \tag{4.11}$$

Sustituyendo:

$$d_p = (1.0416 * 60 \text{ plg}) + 2 \left(3 \text{ plg} + \frac{3.625 \text{ plg}}{3 \text{ plg}} \right)$$

$$d_p = 70.91 \text{ plg}$$

4.1.6.3. Profundidad de Abombado en las Tapas sin Considerar Ceja Recta

Para una tapa torisférica estándar se tiene que:

$$\text{Profundidad} = \left[r_a - \left\{ (r_a - icr)^2 - \left(\frac{d_i}{2} - e_{td} - icr \right)^2 \right\}^{1/2} \right] * \left(\frac{d_e}{d_i} \right) \quad (4.12)$$

Substituyendo valores:

$$\text{Profundidad} = \left[60 \text{ plg} - \left\{ (60 \text{ plg} - 3.625 \text{ plg})^2 - \left(\frac{59.625 \text{ plg}}{2} - \frac{3}{16} \text{ plg} - 3.625 \text{ plg} \right)^2 \right\}^{1/2} \right] * \left(\frac{60 \text{ plg}}{59.625 \text{ plg}} \right)$$

• Profundidad = 10 plg

4.1.6.4. Peso de Acero en Tapas

Para el cálculo del peso de las tapas usaremos la siguiente ecuación:

$$P_{at} = \frac{\pi (d_p)^2 e_t \left(\frac{\rho_{acero}}{1728} \right)}{4} * \text{Número de tapas} \quad (4.13)$$

DISEÑO DE AUTÓCLAVE

Sustituyendo en (4.13):

$$P_{at} = \frac{\pi * (70.91 \text{ plg})^2 * \frac{3}{16} \text{ plg} * \left(\frac{489.526 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3}}{1728} \right)}{4} * 2 \text{ tapas}$$

$$P_{at} = 419.53 \text{ lb}$$

4.1.7. Diseño de Silletas

4.1.7.1. Ubicación de Silletas para Autoclave

Desde el punto de vista estático y económico, se prefiere el uso de dos silletas únicamente a diferencia del sistema de varios soportes. Los recipientes de pared delgada y diámetro grande se soportan mejor cerca de las cabeceras. La distancia entre la línea tangente a la cabeza y el centro de silleta, en ningún caso debe ser mayor de 0.2 veces la longitud del recipiente [14].

Distancia de cabeza a silleta $\leq 0.2 L_{\text{autoclave}}$

Esto es: $0.2 * 10.41 \text{ pie} = 2.08 \text{ pie}$

Por lo que la distancia de cabeza a silleta será de 2 pie.

4.1.7.2. Espesor del alma de placa

Primeramente calcularemos la carga que cada silleta habrá de sostener. Por lo que se realizan los siguientes cálculos.

$$Q_{\text{silleta}} = \frac{\text{Peso del recipiente}}{\text{número de silletas}} \quad (4.14)$$

El peso del recipiente está dado por la suma del peso de acero en el casco y de las tapas más el peso del agave (materia prima); además, se le añade un 10% para cargas extras.

$$\text{Peso}_{\text{recipiente}} = 1.1 (m_{\text{casco+tapas}} + m_{\text{agave}}) \quad (4.15)$$

$$\text{Peso}_{\text{recipiente}} = 1.1 (1666.36 \text{ lb} + 5291 \text{ lb})$$

$$\text{Peso}_{\text{recipiente}} = 3826.55 \text{ lb}$$

Sustituyendo en (4.14)

$$Q_{\text{silleta}} = \frac{3826.55 \text{ lb}}{2} = 7653.10 \text{ lb}$$

En su sección más baja, la silleta debe resistir una fuerza horizontal (F) y se obtiene usando la siguiente expresión:

$$F = KQ \quad (4.16)$$

Donde K se refiere al valor del ángulo de contacto θ entre el cuerpo y la silleta el cual corresponde a 0.204, valor leído en la Tabla de valores de K en [14]. El ángulo θ está sugerido por el código ASME a 120° como mínimo [14].

Cabe señalar que el esfuerzo medio no debe ser mayor de dos tercios del esfuerzo permisible del material de construcción de la estructura [14].

DISEÑO DE AUTOCLAVE

Sustituyendo valores en (4.16):

$$F = (0.204 * 7653.10 \text{ lb}) = 1561.23 \text{ lb}$$

Para poder soportar esta fuerza horizontal F , debemos establecer un área efectiva de la placa que la habrá de sostener al equipo y ésta se establece como:

$$\text{Área efectiva} = \frac{R}{3} * e_{\text{placa de alma}} \quad (4.17)$$

Donde $e_{\text{placa de alma}}$ se refiere al espesor de la placa sobre la cual descansará el autoclave y que se toma como 1/8 plg [14].

Sustituyendo en (4.17):

$$\text{Área efectiva} = \left(\frac{30 \text{ plg}}{3} * 0.125 \text{ plg} \right)$$

$$\text{Área efectiva} = 1.25 \text{ plg}^2$$

Una vez calculada el área efectiva se procede a comprobar si dicho espesor de placa será capaz de absorber el esfuerzo de F .

$$\text{Esfuerzo de diseño de silleta} = \frac{F}{\text{área efectiva}} \quad (4.18)$$

Sustituyendo en la ecuación anterior:

$$\text{Esfuerzo de diseño de silleta} = \frac{1561.23 \text{ lb}}{1.25 \text{ plg}^2} = 1248.98 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}$$

El material que se empleará en la construcción de las silletas será acero al carbón SA-285-C y tiene un Esfuerzo Permisible de 13750 lb/plg² [13].

Como se mencionó anteriormente, el esfuerzo de diseño no debe de sobre pasar 2/3 del esfuerzo permisible del material de construcción, dicho de otra manera:

DISEÑO DE AUTÓCLAVE

Esfuerzo de diseño de silleta $\leq 2/3$ Esfuerzo permisible del material

$$1248.98 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \leq \frac{2}{3} \left(13750 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \right)$$

$$1248.98 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \leq 9166.66 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}$$

Por el resultado anterior puede concluirse que el espesor del alma de la placa para la silleta, es suficiente para resistir F.

Como sugerencia se maneja que la placa del alma debe reforzarse con nervaduras contra el pandeo [14].

El ancho estándar de silletas es de 12 plg para acero y de 15 plg para concreto [13].

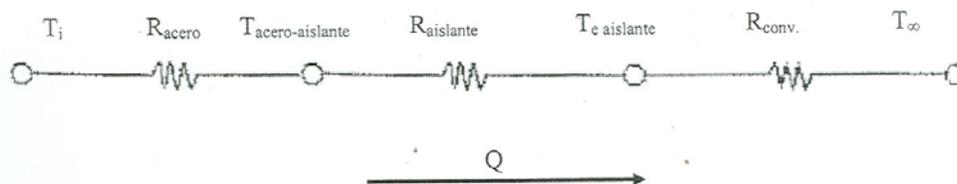
4.2. Balance de Energía

4.2.1. Calor Disperso en el Casco

El presente balance es para calcular las pérdidas de calor que se dan en el autoclave, para realizar dicho análisis se hace una analogía con el balance en una tubería ya que su comportamiento es similar.

La temperatura de interfase casco-aislante es aproximadamente igual a la temperatura que hay en el interior del autoclave ya que la resistencia térmica a través de la pared del casco tiende a ser pequeña.

Para visualizar mejor el flujo de calor se realiza un análogo eléctrico.



Nomenclatura:

T_i = Temperatura en el interior del autoclave, °F

R_{acero} = Resistencia térmica del acero del casco por conducción, Btu/h pie °F

$T_{acero-aislante}$ = Temperatura interfase del casco y el aislante, °F

$R_{aislante}$ = Resistencia térmica del aislante por conducción, Btu/h pie °F

$T_{e\ aislante}$ = Temperatura en la superficie del aislante, °F

R_{conv} = Resistencia térmica por convección libre, Btu/h pie °F

T_{∞} = Temperatura del medio ambiente, °F

Q = Calor disperso, Btu/h

DISEÑO DE AUTOCLAVE

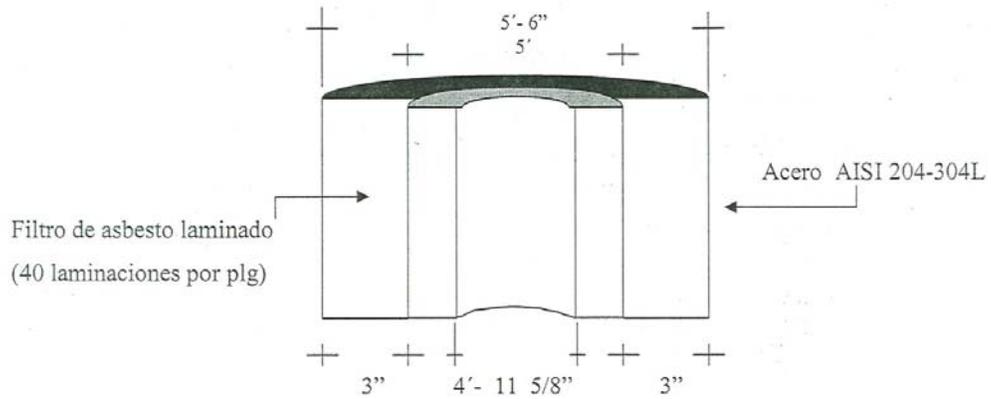


Figura 19. Vista seccional del casco.

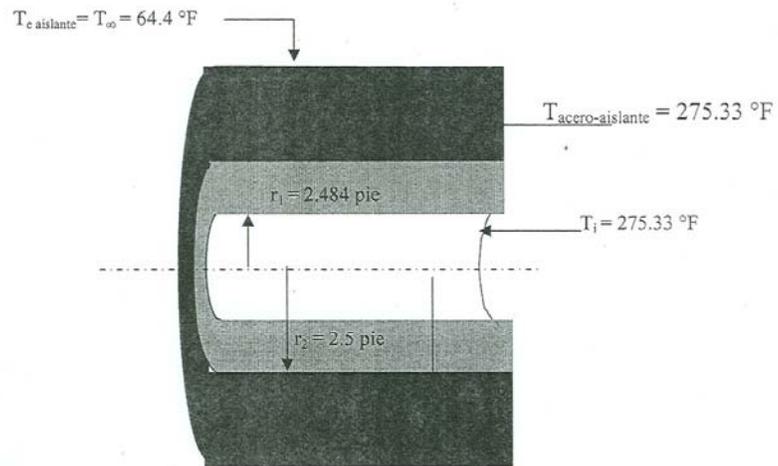


Figura 20. Temperaturas en el autoclave.

Debido a que la resistencia térmica a través de la pared del casco es pequeña, se supondrá que la temperatura de interfase entre el tanque y el aislante $T_{\text{acero-aislante}}$, es la misma que la temperatura interior del autoclave, T_i .

DISEÑO DE AUTÓCLAVE

Para determinar el Q_{disperso} se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{disperso}} = \frac{\Delta T_{\text{sobre el total}}}{\sum R_i} \quad (4.19)$$

o bien

$$Q_{\text{disperso}} = \frac{T_i - T_{so}}{R_{\text{acero}} + R_{\text{aislante}} + R_{\text{conv.}}} \quad (4.20)$$

y sabemos que las resistencias para conducción y convección se expresan de la siguiente forma:

$$R_{\text{conducción}} = \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{ext}}}{r_{\text{int}}}\right)}{2\pi kL} \quad (4.21)$$

$$R_{\text{convección}} = \frac{1}{2\pi r_{\text{ext}} Lh} \quad (4.22)$$

Nomenclatura:

k = Conductividad térmica del material, Btu/h °F pie

h = Coeficiente convectivo de transferencia de calor en la superficie del aislante, Btu/h °F pie²

L = Longitud del tanque, pie

r_i = Radio interno del autoclave, pie

r_e = Radio externo del autoclave, pie

L = longitud del casco cilíndrico del autoclave, pie

De la tabla 3-325 de [15] se obtiene por interpolación a $T = 275.33$ °F, la conductividad del aislante que en este caso es Filtro de asbesto laminado y en la tabla 3-222 el valor para k del acero 304 L.

Las resistencias térmicas para el sistema serán entonces las siguientes:

DISEÑO DE AUTOCLAVE

$$R_{\text{acero}} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_{\text{acero}} L} \quad (4.23)$$

$$R_{\text{acero-aislante}} = \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_{\text{aislante}} L} \quad (4.24)$$

$$R_{\text{convección}} = \frac{1}{2\pi r_3 L h} \quad (4.25)$$

$$Q_{\text{disperso}} = \frac{T_{\text{int}} - T_{\infty}}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_{\text{acero}} L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_{\text{aislante}} L} + \frac{1}{2r_3 \pi L h_{\text{aislante}}}} \quad (4.26)$$

Donde:

r_1 = radio interior del casco cilíndrico del autoclave, pie

r_2 = radio exterior del casco cilíndrico del autoclave, pie

r_3 = radio exterior del aislante en el autoclave, pie

En [16] se da un valor aproximado de h para problemas de convección libre, éste es $1.76 \text{ Btu/h } ^\circ\text{F pie}^2$.

A continuación se sustituyen los valores en la ecuación (4.26):

$$Q_{\text{disperso}_{\text{casco}}} = \frac{275.33 \text{ } ^\circ\text{F} - 64.4 \text{ } ^\circ\text{F}}{\frac{\ln\left(\frac{2.5 \text{ pie}}{2.484375 \text{ pie}}\right)}{\left(2\pi * 9.66 \frac{\text{Btu}}{\text{h } ^\circ\text{F pie}} * 10.41 \text{ pie}\right)} + \frac{\ln\left(\frac{2.75 \text{ pie}}{2.5 \text{ pie}}\right)}{\left(2\pi * 0.039 \frac{\text{Btu}}{\text{h } ^\circ\text{F pie}} * 10.41 \text{ pie}\right)} + \frac{1}{\left(2\pi * 2.75 \text{ pie} * 10.41 \text{ pie} * 1.76 \frac{\text{Btu}}{\text{h } ^\circ\text{F pie}^2}\right)}}$$

$$Q_{\text{disperso}_{\text{casco}}} = 5204 \frac{\text{Btu}}{\text{h}} * 8 \text{ h}$$

$$Q_{\text{Total}_{\text{disperso}_{\text{casco}}}} = 41632 \text{ Btu}$$

DISEÑO DE AUTOCLAVE

4.2.2. Calor Disperso en Tapas

El análisis será el mismo, pues las tapas también estarán aisladas térmicamente con el fieltro de asbesto laminado, a continuación se muestra un esquema de las tapas.

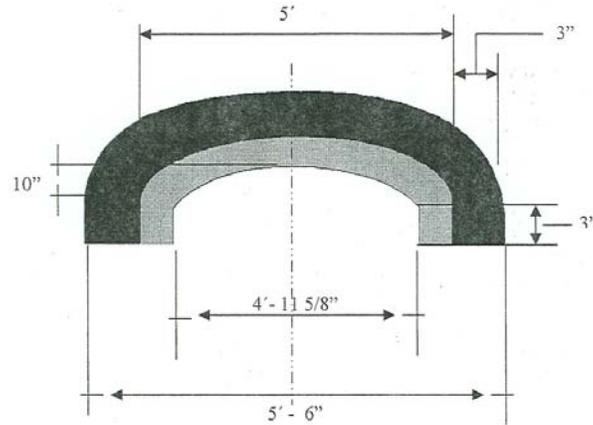


Figura 21. Tapa torisférica para autoclave con sus dimensiones.

Para la obtención del calor disperso por las tapas se seguirá el mismo análisis que para el casco cilíndrico.

$$Q_{\text{disperso, tapa}} = \frac{\Delta T_{\text{sobre el total}}}{\sum R_i} \quad (4.19)$$

$$Q_{\text{disperso tapas}} = \frac{T_i - T_{\infty}}{R_{\text{acero}} + R_{\text{aislante}} + R_{\text{conv.}}} \quad (4.20)$$

$$Q_{\text{disperso tapa}} = \frac{275.33 \text{ } ^\circ\text{F} - 64.4 \text{ } ^\circ\text{F}}{\ln\left(\frac{2.5 \text{ pie}}{2.484375 \text{ pie}}\right) + \frac{1}{\left(2\pi * 9.66 \frac{\text{Btu}}{\text{h } ^\circ\text{F pie}} * 1.0833 \text{ pie}\right)} + \ln\left(\frac{2.75 \text{ pie}}{2.5 \text{ pie}}\right) + \frac{1}{\left(2\pi * 0.039 \frac{\text{Btu}}{\text{h } ^\circ\text{F pie}} * 1.0989 \text{ pie}\right)} + \frac{1}{\left(2\pi * 2.75 \text{ pie} * 1.3489 \text{ pie} * 1.76 \frac{\text{Btu}}{\text{h } ^\circ\text{F pie}^2}\right)}}$$

DISEÑO DE AUTOCLAVE

$$Q_{\text{disperso tapas}} = \left(557.38 \frac{\text{Btu}}{\text{h}} * 2 \text{ tapas} \right) = 1114.76 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}$$

$$Q_{\text{Total disperso tapas}} = 1114.76 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} * 8 \text{ h}$$

$$Q_{\text{Total disperso tapas}} = 8918.08 \text{ Btu}$$

4.2.3. Calor Necesario para Calentar al Agave

$C_{p \text{ agave}}$ corresponde a un valor de 0.5 Btu/lb °F [8]

$$Q_{\text{agave}} = m_{\text{agave}} * C_{p \text{ agave}} * \Delta T \quad (4.27)$$

$$Q_{\text{agave}} = (5291 \text{ lb}_{\text{agave}}) * \left(0.5 \frac{\text{Btu}}{\text{lb } ^\circ\text{F}} \right) * (275.33 \text{ } ^\circ\text{F} - 64.4 \text{ } ^\circ\text{F})$$

$$Q_{\text{agave}} = 558015.31 \text{ Btu}$$

4.2.4. Calor Necesario para Calentar el Acero del Autoclave

$C_{p \text{ acero 304L}}$ se halló en [18]

$$Q_{\text{acero}} = m_{(\text{casco+tapas})} * C_{p \text{ acero}} * \Delta T \quad (4.28)$$

$$Q_{\text{acero}} = (1666.36 \text{ lb}_{\text{acero}}) * \left(0.12 \frac{\text{Btu}}{\text{lb } ^\circ\text{F}} \right) * (275.33 \text{ } ^\circ\text{F} - 64.4 \text{ } ^\circ\text{F})$$

$$Q_{\text{acero}} = 42178.23 \text{ Btu}$$

4.2.5. Calor Total para Cocimiento

$$Q_{\text{TOTAL}} = Q_{\text{agave}} + Q_{\text{casco+tapa}} + Q_{\text{Total disperso tapas}} + Q_{\text{Total disperso casco}} \quad (4.29)$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = 558015.31 \text{ Btu} + 42178.23 \text{ Btu} + 8918.08 \text{ Btu} + 41632 \text{ Btu}$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = 650743.62 \text{ Btu}$$

4.2.6. Vapor Requerido para Cocimiento

$$Q_{TOTAL} = m_{vapor} \lambda_{vapor} \quad (4.30)$$

El valor para λ_{vapor} se obtiene de [19] a $T_{m\acute{a}x. \text{operaci3n}} = 250.33 \text{ }^\circ\text{F}$ y 30 lb/plg^2 .

$$m_{vapor} = \frac{Q_{TOTAL}}{\lambda_{vapor}} = \frac{650743.62 \text{ Btu}}{1164.1 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}}} = 560 \text{ lb en las 8 horas del cocimiento.}$$