

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO DE UN TANQUE HOMOGENIZADOR PARA LA ELABORACION
DE VACUNA EMULSIONADA PARA UN LABORATORIO
PRODUCTOR DE BIOLÓGICOS VETERINARIOS

T E S I S

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA
P O R

CARLOS LEONEL GOMEZ VALLEJO

AL CONFERIRSELE EL TITULO DE

INGENIERO MECANICO

GUATEMALA, MAYO DE 1996

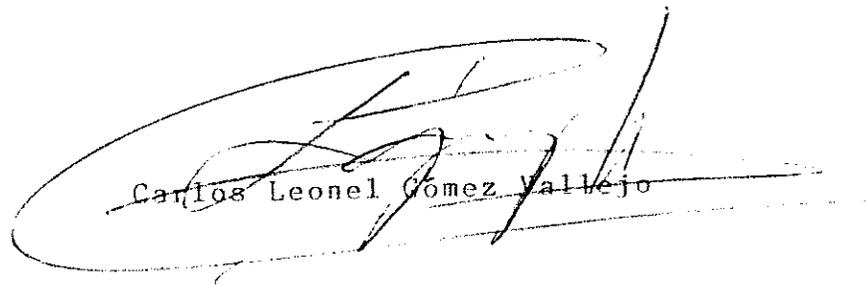
08
T(3729)
C.4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

DISEÑO DE UN TANQUE HOMOGENIZADOR PARA LA ELABORACION
DE VACUNA EMULSIONADA PARA UN LABORATORIO
PRODUCTOR DE BIOLOGICOS VETERINARIOS,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 9 de agosto de 1,995.



Carlos Leonel Gómez Vallejo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Julio Ismael Gonzalez Podszueck.
VOCAL 1ro.:	Ing. Miguel Anngel Sánchez Guerra.
VOCAL 2do.:	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano.
VOCAL 3ro.:	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez.
VOCAL 4to.:	Br. Fernando Waldemar De León Contreras.
VOCAL 5to.:	Br. Pedro Ignacio Escalante Pastor.
SECRETARIO:	Ing. Francisco Javier González López.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Jorge Mario Morales.
EXAMINADOR:	Ing. Carlos Eliseo Flores.
EXAMINADOR:	Ing. Francisco Mulet.
EXAMINADOR:	Ing. Pedro Kubes.
SECRETARIO:	Ing. Edgar José Bravatti Castro.

Guatemala, 22 de febrero de 1,996.

Ingeniero

Pedro E. Kubes Z.

Coordinador Area de Diseño Mecánico

Escuela de Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Kubes.

Atendiendo a la designación que se me hiciera como asesor del trabajo de tesis **DISEÑO DE UN TANQUE HOMOGENIZADOR PARA LA ELABORACION DE VACUNA EMULSIONADA PARA UN LABORATORIO PRODUCTOR DE BIOLOGICOS VETERINARIOS**, ejecutado por el estudiante **CARLOS LEONEL GOMEZ VALLEJO** previo a optar al título de Ingeniero Mecánico, luego de conocer su contenido y hacer las correcciones pertinentes, le informo que el trabajo corresponde al protocolo propuesto. Por todo lo anterior me permito recomendar su aprobación.

Agradeciendo su atención, quedo de usted

Atentamente,



Ing. Jorge Siguere

Ing. Mecánico Colegiado No. 1039

ASESOR



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.

Apartado Postal 217-I-01-907, Guatemala
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Coordinador del área de Diseño de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del asesor, y habiendo revisado en su totalidad el trabajo titulado **Diseño de un Tanque Homogenizador para la Elaboración de Vacuna Emulsionada para un Laboratorio Productor de Biológicos Veterinarios**, del estudiante **Carlos Leonel Gómez Vallejo**, recomienda su autorización.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Pedro Enrique Kubes Zacek

Coordinador de Area

Guatemala, marzo de 1, 996.

/bedei.



FACULTAD DE INGENIERIA

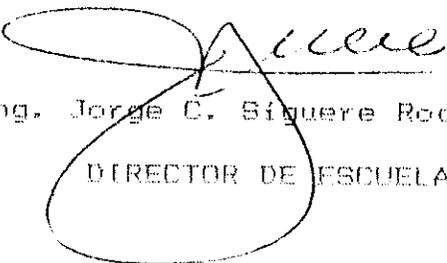
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con el visto bueno del Coordinador del Area Complementaria, al trabajo de tesis titulado **Diseño de un Tanque Homogenizador para la Elaboración de Vacuna Emulsionada para un Laboratorio Productor de Biologicos Veterinarios**, del estudiante Carlos Leonel Gómez Vallejo, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS




Ing. Jorge C. Siguere Rockstroh

DIRECTOR DE ESCUELA

Guatemala, marzo de 1, 1996.

/bedei



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Ingeniero Jorge C. Siguere Rockstroh, al trabajo de tesis titulado **Diseño de un Tanque Homogenizador para la Elaboración de Vacuna Emulsionada para un Laboratorio Productor de Biológicos Veterinarios**, presentado por el estudiante universitario Carlos Leonel Gómez Vallejo, procede a la autorización para la impresión del mismo.

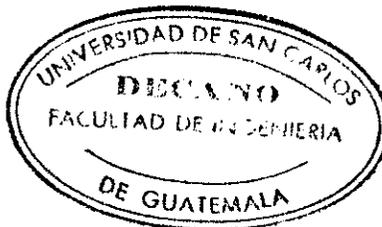
IMPRIMASE

ING. JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUECK

DECANO

Guatemala, mayo de 1,996.

/bedei.



ACTO QUE DEDICO

A:

- Jesucristo Vida, verdad y camino.

- mis padres José Luis Gómez (Q.E.P.D) y Eulalia de Gómez
 (Q.E.P.D). Por el ejemplo que siempre fueron
 para mi.

- mi esposa Yolanda Judith Barillas de Gómez. Gracias
 por todo su amor y apoyo.

- mi hijo Luis Carlos.

- mis hermanos Moisés, Rubén y Consuelo.

- mis sobrinos Con cariño.

Agradecimiento a:

Ing. Jorge Sigüere, por su valiosa asesoría
en el desarrollo de este trabajo.

Universidad de San Carlos de Guatemala.

I N D I C E

GLOSARIO DE TERMINOS TECNICOS	I
INTRODUCCION	II
OBJETIVOS	III
	PAGINA
CAPITULO 1	
1. PRINCIPIOS GENERALES PARA EL DISEÑO DEL TANQUE HOMOGENIZADOR-EMULSIFICADOR	
1.1 PRINCIPIOS GENERALES DE CALCULO DE CASCARONES EN REVOLUCION	1
1.1.1 DESCRIPCION Y ANALISIS	1
1.1.2 ECUACIONES DE EQUILIBRIO PARA CASCARONES DELGADOS DE REVOLUCION	4
1.1.3 OBSERVACIONES ACERCA DEL CASCARON DE PARED DELGADA SOMETIDO A PRESION INTERNA	9
1.1.4 TENSION DE TRABAJO	11
1.2 PRINCIPIOS GENERALES DE ESFUERZOS EN SOLDADURAS	11
1.2.1 RESISTENCIA DE LAS SOLDADURAS A TOPE	11
1.2.2 TENSIONES DE TRABAJO EN LAS SOLDADURAS	11
1.3 PRINCIPIOS GENERALES DE CALCULO DE CARGA TERMICA Y DE TRANSFERENCIA DE CALOR	13

I N D I C E (Continuación)

	PAGINA
1.4 USO Y RECOMENDACION PARA LAS APLICACIONES DEL ACERO INOXIDABLE	17
1.4.1 ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS	18
1.4.2 ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS	19
1.4.3 ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS	20
1.4.4 SELECCION DEL ACERO INOXIDABLE	21
CAPITULO 2	
2. DESCRIPCION Y CONDICIONES QUE DEBE CUMPLIR EL EQUIPO	
2.1 CONDICIONES QUE DEBE CUMPLIR EL EQUIPO	23
2.2 DIMENSIONES DEL EQUIPO	24
2.3 DESCRIPCION DE LAS CONEXIONES PERIFERICAS PARA SU FUNCIONAMIENTO	24
CAPITULO 3	
3. CALCULO DE DISEÑO PARA EL TANQUE HOMOGENIZADOR EMULSIFICADOR	
3.1 CALCULO DE ESFUERZOS DEL TANQUE	26

I N D I C E (Continuación)

	PAGINA
3.2 CALCULO DE ESFUERZOS EN SOLDADURA	27
3.3 CALCULO DE LA CARGA TERMICA	29
3.3.1 CALCULO DEL EQUIPO DE REFRIGERACION, Y DE LA CANTIDAD DE AGUA DE ENFRIAMIENTO	33

CAPITULO 4

4. CONSIDERACIONES PARA LA ELECCION DE LOS FILTROS PARA VAPOR Y AIRE, DISPOSITIVOS DE CONTROL DE PRESION, ADAPTACIONES PARA EL MONTAJE Y CONSIDERACIONES DE LA INSTALACION ELECTRICA

4.1 ELECCION DEL FILTRO PARA EL AIRE ESTERIL	40
4.2 DISEÑO DE LA CARCASA PARA EL FILTRO Y SUS CONEXIONES PERIFERICAS PARA SU ESTERILIZACION Y SALIDA DE CONDENSADOS	40
4.3 DISEÑO DE LOS ACCESOS Y EFLUENTES DEL TANQUE PARA SU ESTERILIZACION	40
4.4 REDISEÑO DEL APARATO HOMOGENIZADOR PARA SU ADAPTACION EN EL TANQUE	41
4.5 ELECCION DEL FILTRO DE VAPOR	41
4.6 DISEÑO DE LA CARCASA PARA EL FILTRO DE VAPOR	42

I N D I C E (Continuación)

	PAGINA
4.7 TIPOS DE DISPOSITIVOS NECESARIOS PARA MANTENER LAS PRESIONES DE AIRE Y VAPOR	42
4.8 CONSIDERACIONES Y DISCUSIONES PARA LA INSTALACION ELECTRICA	42
CAPITULO 5	
5. DIBUJOS, DIAGRAMAS Y PLANOS	44
CONCLUSIONES	51
RECOMENDACIONES	52
BIBLIOGRAFIA	53

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

	PAGINA
FIGURA 1. Cascarón delgado de revolución.	3
FIGURA 2. a) Componente normal de la fuerza de aro. b) Componente normal de la fuerza meridiana. c) Resultante de Pz.	5
FIGURA 3. Diagrama de equilibrio para un segmento de cascarón.	7
FIGURA 4. Recipiente esférico a presión.	7
FIGURA 5. Recipiente cilíndrico a presión.	8
FIGURA 6. Representación de la tendencia a expandirse de un cuerpo cilíndrico y sus extremos por acción de la presión interna.	10
FIGURA 7. Soldadura a tope.	12
FIGURA 8. Sistema abierto con una entrada y una salida de flujo para las condiciones del tanque.	14
TABLA 1. Propiedades típicas de los aceros inoxidable.	22

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS (continuación)

	PAGINA
TABLA 2. Conductividades térmicas de los aislantes.	30
TABLA 3. Conductividades térmicas de los metales.	31
TABLA 4. Coeficientes de transferencia de calor para calentadores (o enfriadores) y cambiadores de calor.	34
DIAGRAMA 1. Transferencia de calor a flujo paralelo.	37

GLOSARIO DE TERMINOS TECNICOS

AUSTENITA: es el hierro γ que contiene elementos en solución sólida.

EMULSION: es una mezcla estable de pequeñas gotas de aceite finamente distribuidas en agua.

FERRITA: es el hierro en estado α , cristalizado en forma cúbica. Se presenta libre en los aceros que contienen menos de 0.9% de carbono.

HOMOGENIZAR: al homogenizar dos líquidos o un líquido y un polvo, se obtiene una distribución uniforme, que contiene porciones iguales en la totalidad del producto resultante.

MARTENSITA: solución sólida de carburo de hierro en hierro α .

I N T R O D U C C I O N

Por la experiencia en el departamento de Mantenimiento de un laboratorio productor de biológicos veterinarios, es necesario diseñar un tanque homogenizador-emulsificador de vacuna, la cual hasta la fecha, se adquiere del extranjero, y representa altos costos para llenar la demanda del producto en el mercado regional.

Con este equipo, se logrará que Guatemala, por primera vez, pueda elaborar una vacuna de este tipo, y contribuir así al desarrollo de la industria de biológicos veterinarios del país.

O B J E T I V O S

GENERALES

- a. Elaborar vacuna emulsionada a través del diseño de un tanque emulsificador que trabaje en condiciones controladas de laboratorio.
- b. Aplicación de los recursos técnicos nacionales en la elaboración de productos emulsionados.

ESPECIFICOS

- a. Presentar el diseño de un proyecto con fines prácticos, que esté adaptado a la medida de nuestras necesidades de producción de la vacuna en Veterinaria.
- b. Fabricación de vacuna emulsionada que beneficiará a la industria veterinaria de Centro América.

CAPITULO 1

1. PRINCIPIOS GENERALES PARA EL DISEÑO DEL TANQUE HOMOGENIZADOR-EMULSIFICADOR

1.1 PRINCIPIOS GENERALES DE CALCULO DE CASCARONES EN REVOLUCION

Al aplicar los principios de cascarones en revolución de pared delgada, quedará satisfecho el análisis de esfuerzos de cargas distribuidas, debido a la presión interna en las paredes del tanque homogenizador-emulsificador, se procede a la descripción y análisis de las fuerzas involucradas.

1.1.1 DESCRIPCION Y ANALISIS

El análisis se hará en cascarones de revolución sometidos a cargas distribuidas, tales como una presión interna. Un ejemplo de cascarón en revolución se da en la FIGURA 1; otros ejemplos son los de forma esférica, cilíndrica y cónica. Tales formas son generadas por la rotación de una curva plana, llamada meridiana o meridiano, alrededor de un eje en el plano de la curva. La meridiana puede tener un radio de curvatura arbitrariamente variable r_1 , FIGURA 1b. Para definir por completo la configuración geométrica de la superficie de un cascarón, se requiere otro radio de curvatura, r_2 . El centro de curvatura de este radio r_2 está situado en el eje del cascarón. Este radio genera la superficie de dicho cascarón en dirección perpendicular a la de la tangente a la meridiana. Sin embargo, en la mayor parte de los casos es más conveniente trabajar con otro radio de curvatura r , en un plano perpendicular al eje del

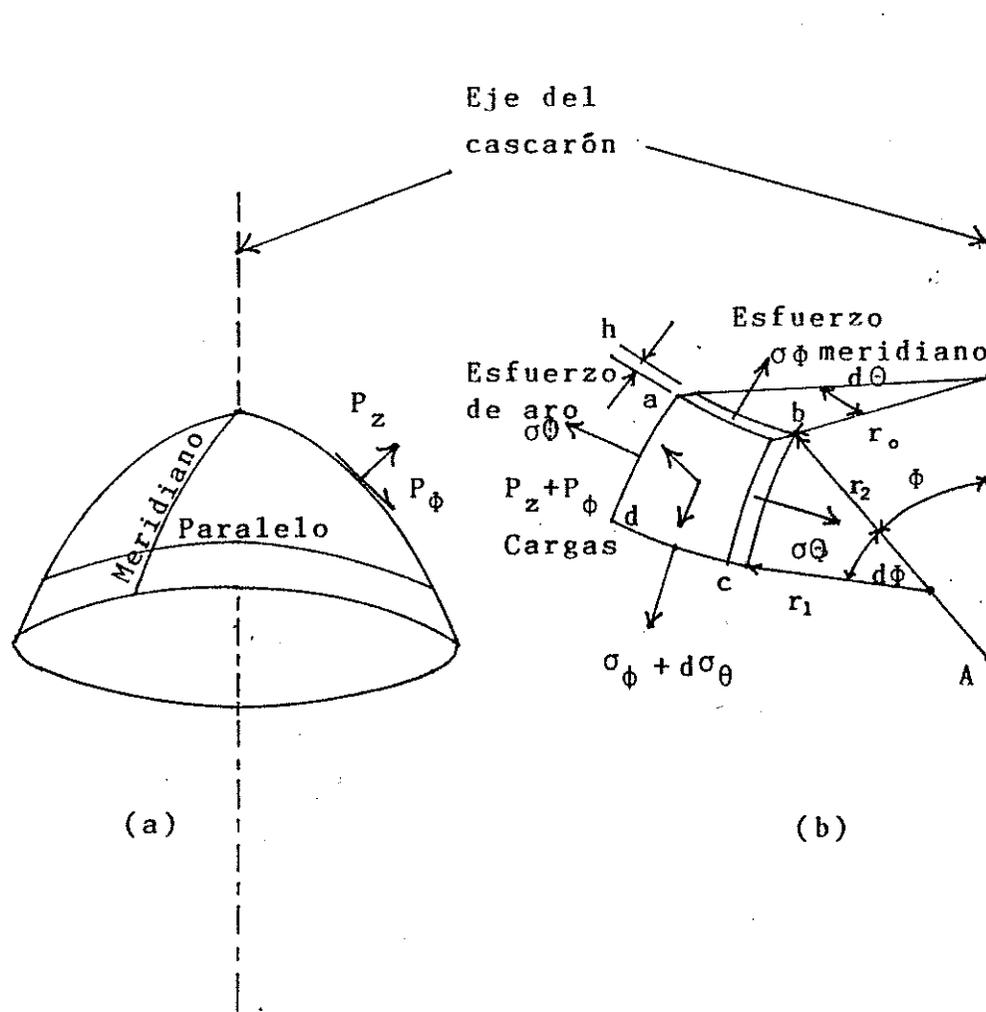
cascarón. Los dos radios r_0 y r_2 se relacionan, puesto que $r_0 = r_2 \operatorname{sen} \theta$; véase la FIGURA 1b. Con los radios r_0 y r_1 conocidos y los ángulos infinitesimales subtendidos $d\theta$ y $d\phi$, las longitudes de los arcos infinitesimales del elemento curvilíneo de cascarón serán $r_0 d\theta$ y $r_1 d\phi$, respectivamente.

En este análisis, se supondrá que el espesor h , del cascarón es despreciable comparado con r_1 y r_2 , es decir, no se hará ninguna distinción entre los radios interior, medio y exterior del mismo. Se supondrá, además, que éste se puede deformar bajo carga y que permiten tratar el cascarón como si fuera una membrana en la que existen sólo esfuerzos uniformes en un plano. En las membranas, no se desarrollan momentos flexionantes y fuerzas cortantes transversales de magnitud significativa. Una membrana es una analogía bidimensional de una cuerda flexible, pero puede resistir esfuerzos de compresión. Estas suposiciones son enteramente justificables para cascarones delgados en regiones alejadas de restricciones externas.

El análisis se limitará aquí a esfuerzos en cascarones de revolución simétricamente cargados. Para este caso, la carga por unidad de superficie puede consistir en las cargas P_z , normal a la superficie del cascarón, y P_ϕ , tangencial al meridiano. Para un ángulo dado, estas cantidades permanecen constantes a lo largo de un paralelo; véase la FIGURA 1a.

tratándose de condiciones de carga axisimétricas, en virtud de la simetría, los esfuerzos tangenciales a un paralelo σ_θ , llamados "esfuerzos de aro", son constantes a uno u otro lado de un elemento infinitesimal, como se indica en la FIGURA 1b. Esto por lo general no se verifica para el esfuerzo

meridiano σ_ϕ . Un posible esfuerzo cortante en el plano $\gamma_{\theta\phi}$ (no indicado), se anula debido a la simetría del caso considerado.



NOTA:

$$r_0 = r \cdot \text{sen} \phi$$

$$ab = r_0 d\theta$$

$$ad = bc = r_1 d\theta$$

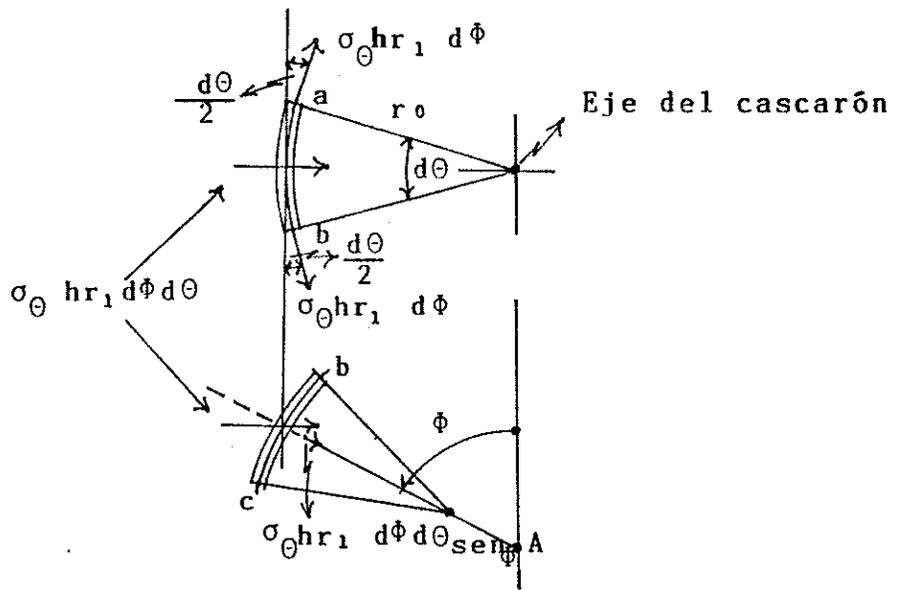
FIGURA 1. Cascarón delgado de revolución.

1.1.2 ECUACIONES DE EQUILIBRIO PARA CASCARONES DELGADOS DE REVOLUCION

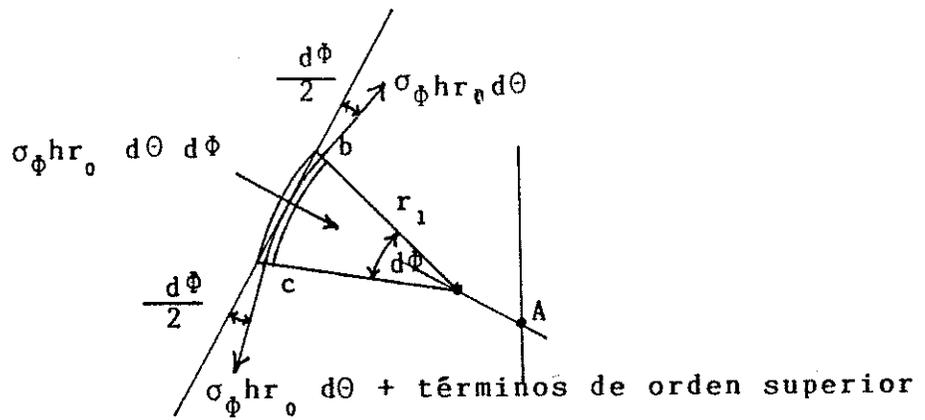
En casos axisimétricos de cascarones de revolución, hay sólo dos esfuerzos desconocidos, σ_ϕ y σ_θ y las ecuaciones que rigen se establecen a partir de dos condiciones de equilibrio. Una de ellas se obtiene sumando las fuerzas en la dirección normal al plano tangente del elemento infinitesimal. En dicha suma, intervienen las componentes de las fuerzas que actúan en los bordes del elemento de cascarón y la fuerza producida por la carga P_z que se aplica. Tales fuerzas se muestran en los tres diagramas consecutivos de la FIGURA 2.

Así como el área transversal a lo largo de cada uno de los dos bordes verticales de un elemento infinitesimal es $hr_1 d\phi$ y el esfuerzo de aro (o circunferencial transversal) que actúa en tales áreas es σ_θ , también las fuerzas horizontales que actúan en el aro infinitesimal son $\sigma_\theta hr_1 d\phi$ como se ve en la FIGURA 2a. Estas dos fuerzas, inclinadas cada una en un ángulo $d\theta/2$ respecto al plano tangente, producen una componente horizontal igual a $2\sigma_\theta hr_1 d\phi(d\theta/2)$, que actúa hacia el eje del cascarón. Tal fuerza horizontal se debe multiplicar por $\sin\phi$ para determinar la componente de fuerza normal que actúa hacia el punto A, como se muestra en la FIGURA 2a.

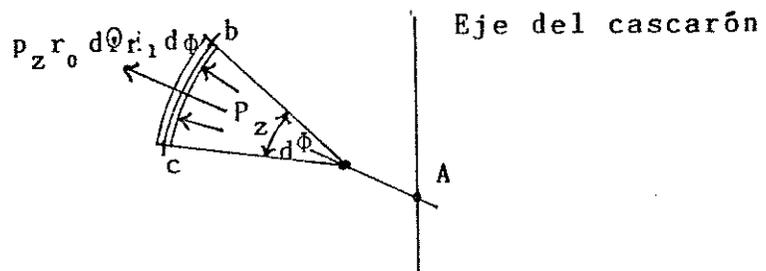
La componente de fuerza normal original por los esfuerzos meridianos se determina en forma similar, FIGURA 2b. Aunque tales esfuerzos, así como la longitud de los bordes del elemento, pueden variar desde la parte superior hasta la inferior, en esta proyección dichos cambios son cantidades infinitesimales de mayor orden que las otras que



(a) Componente normal de la fuerza de aro



(b) Componente normal de la fuerza meridiana



(c) Resultante de P_z

FIGURA 2

intervienen, y pueden ser despreciadas. Finalmente, tomando como área de la superficie del elemento infinitesimal, el valor $r_0 d\theta r_1 d\phi$, la resultante debida a P_z que actúa en esta superficie se puede hallar como se indica en la FIGURA 2c. La carga tangencial P no da ninguna fuerza componente en la dirección considerada y por esta razón no se incluye en estos diagramas.

Para las fuerzas que se consideran, de $\sum F_n = 0$, se tiene

$$hr_1 d\phi d\theta \sin\phi + \sigma_\phi hr_0 d\theta d\phi - Pr_0 d\theta r_1 d\phi = 0$$

Recordando que $r_0 = r_2 \sin\phi$ y simplificando, se obtiene una de las relaciones básicas para cascarones de membrana:

$$\frac{\sigma_\phi}{r_1} + \frac{\sigma_\theta}{r_2} = \frac{P_z}{h} \quad (1-1)$$

En este caso, como antes, h es el espesor del cascarón. Una segunda ecuación para determinar los esfuerzos de membranas desconocidos se puede hallar considerando un cuerpo libre formado por la parte de cascarón situada arriba de un círculo paralelo, como se ilustra en la FIGURA 3. En este caso, la resultante vertical R , debida a las cargas P_z y P_ϕ se mantiene en equilibrio por la componente vertical de la fuerza desarrollada por el esfuerzo meridiano σ_ϕ .

Teniendo presente que la circunferencia de la sección a través del cascarón es $2\pi r_0$, de $\sum f_y = 0$, se tiene

$$2\pi r_0 h \sigma_\phi \sin\phi - R = 0$$

$$\sigma_\phi = \frac{R}{2\pi r_0 \sin\phi} \quad (1-2)$$

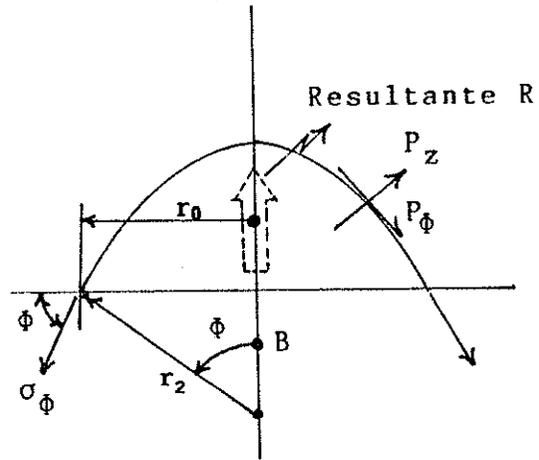


FIGURA 3. Diagrama de equilibrio para un segmento de casca-
rón.

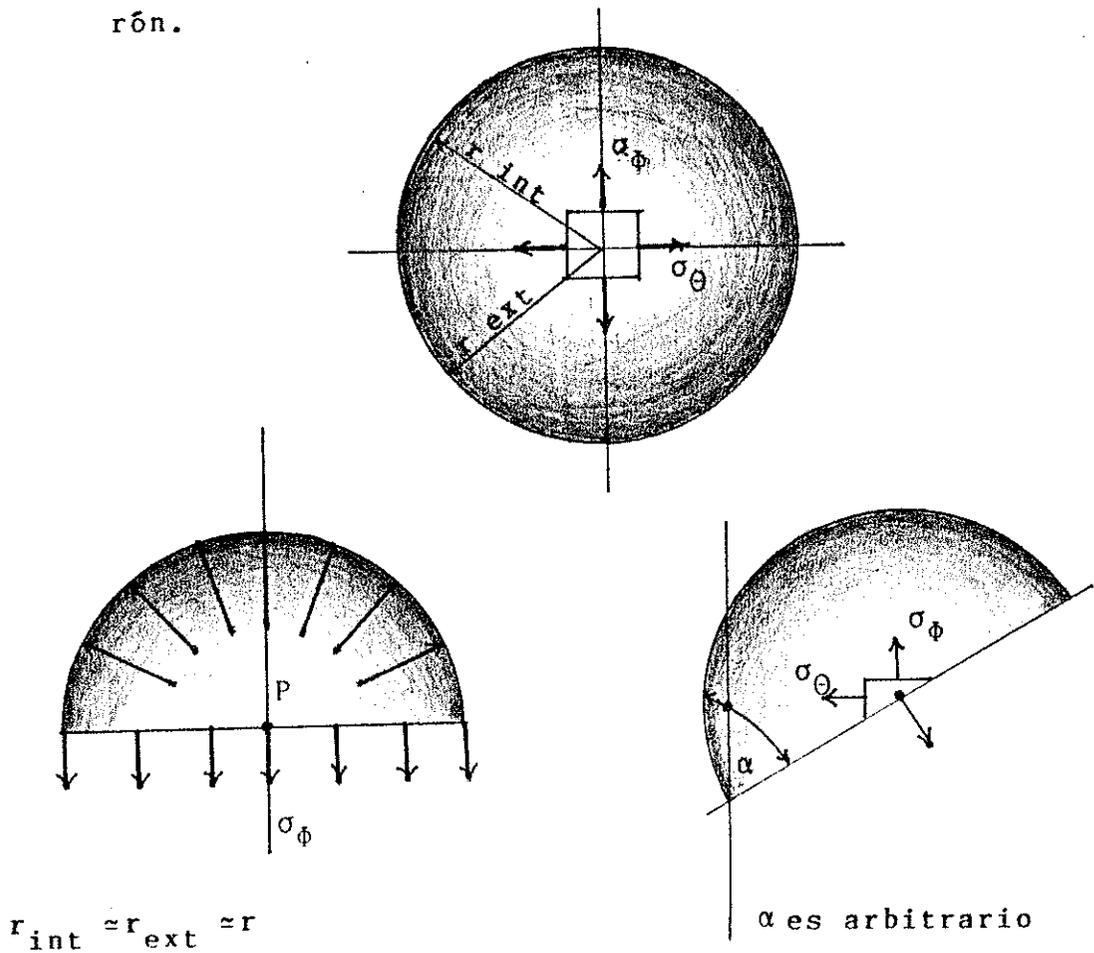
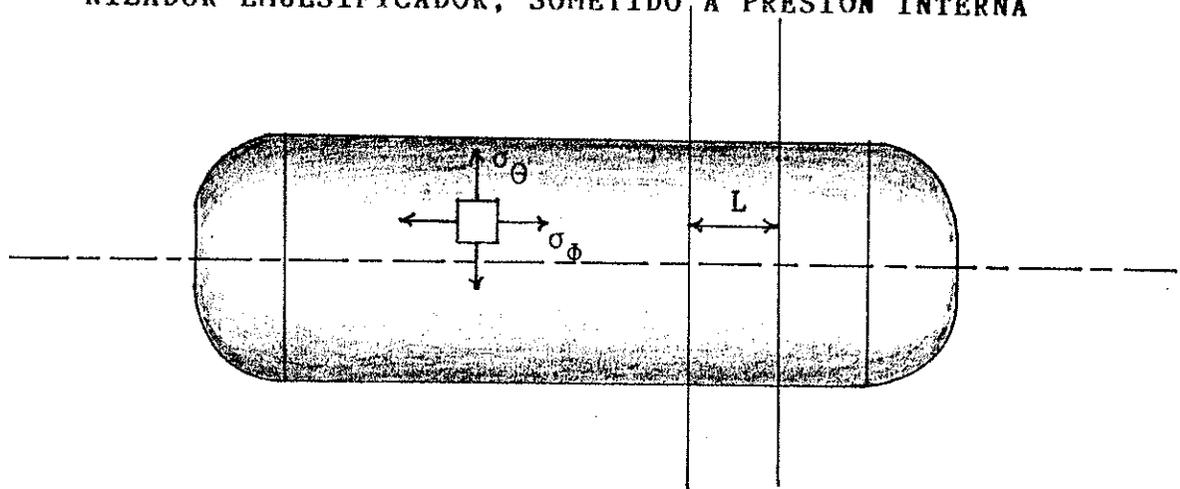
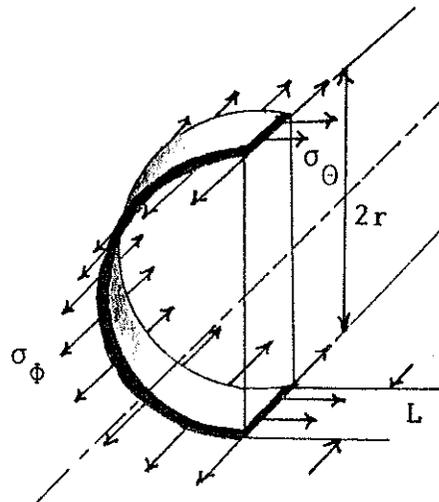


FIGURA 4. Recipiente esférico a presión

DIBUJO QUE REPRESENTA ESQUEMATICAMENTE LOS (σ) ESFUERZOS EN LAS PAREDES DEL CILINDRO DE PARED DELGADA DEL HOMOGENEIZADOR-EMULSIFICADOR, SOMETIDO A PRESION INTERNA

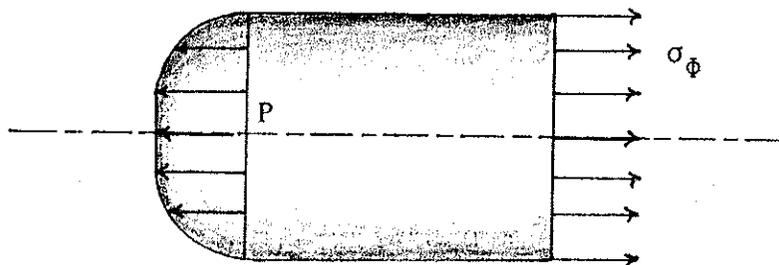


(a)



(b)

Ver dimensiones en el dibujo No.1 del Capítulo 5



(c)

FIGURA 5. Recipiente cilíndrico a presión.

1.1.3 OBSERVACIONES ACERCA DEL CASCARON DE PARED DELGADA SOMETIDO A PRESION INTERNA

El estado de esfuerzo para un elemento del recipiente sometido a presión interna se considera biaxial, aunque la presión interna actuando normalmente a la pared produce un esfuerzo local de compresión igual a dicha presión. En realidad, existe un estado de esfuerzo triaxial en el interior del recipiente. Sin embargo, en el caso de recipientes a presión de pared delgada, el tercer esfuerzo es mucho menor que σ_{ϕ} y σ_{θ} y por esta razón se puede despreciar. Es espesor de la pared alcanza 1/10 del radio interior y aun así, el error que se comete al aplicar las ecuaciones para recipientes de pared delgada es despreciable.

Una discontinuidad de la acción de la membrana del cascarón ocurre en todos los puntos de restricción debido a las juntas en los extremos de las tapaderas y el cilindro como puede verse en la FIGURA 6; se observa que el cilindro tiende a expandirse de manera diferente a como lo hacen los extremos. Esta incompatibilidad de deformaciones produce esfuerzos locales de flexión y de corte en la vecindad de cada junta, puesto que debe de haber continuidad física entre los extremos y el cuerpo cilíndrico central. Por tal razón, dichas partes de extremo deben tener la curvatura apropiada para los recipientes a presión.

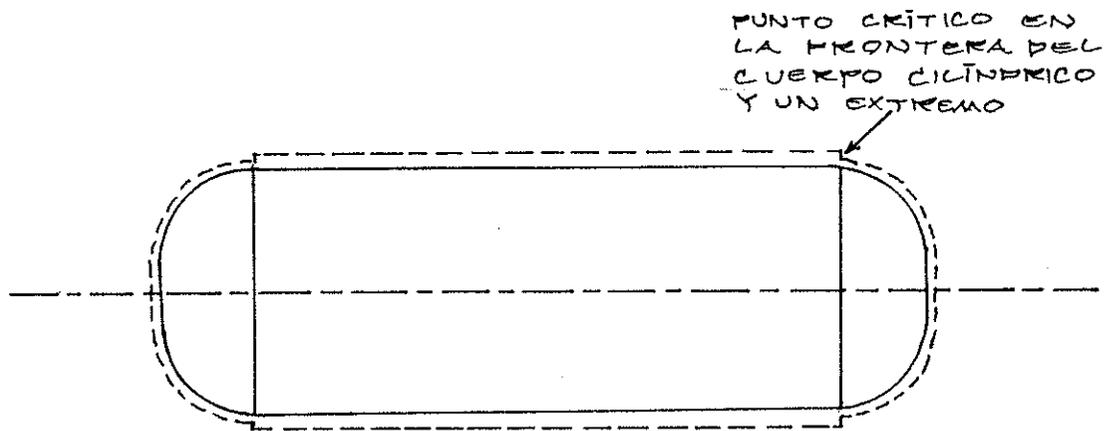


FIGURA 6. Las líneas punteadas indican la tendencia (exagerada) en el cuerpo cilíndrico y en los extremos, a expandirse en distinta cantidad por acción de la presión interna en un recipiente.

1.1.4 TENSION DE TRABAJO

Todas las tensiones de trabajo deben de estar dentro de la zona elástica del material. Para el diseño del tanque, se dividió la tensión de fluencia del acero inoxidable 304 por 2, que fue el coeficiente de seguridad elegido. La elección del coeficiente de seguridad queda a juicio y experiencia del proyectista.

1.2 PRINCIPIOS GENERALES DE ESFUERZOS EN SOLDADURAS

1.2.1 RESISTENCIA DE LAS SOLDADURAS A TOPE

La estructura del cascarón del tanque de presión interna lleva soldaduras a tope. La resistencia de la soldadura a tope es igual a la sección total de la soldadura multiplicada por la tensión de trabajo admisible en tracción o compresión para el material soldado. El área total es el producto de la longitud de la soldadura, por el espesor de la chapa más delgada de las que se unen. Por consiguiente;

$$P = \sigma_{sol} bt \quad (1-2)$$

donde σ_{sol} representa la tensión de trabajo; t el espesor de la chapa y b la anchura de la misma. (Véase FIGURA 7).

1.2.2 TENSIONES DE TRABAJO EN LAS SOLDADURAS

El código de soldadura por fusión de la Sociedad Americana de la Soldadura (A.W.S.) determina las resistencias de trabajo siguientes para las soldaduras de estructuras:

Tensión cortante 790 Kg/cm²

Tensión de tracción 910 kg/cm²
Tensión de compresión 1260 Kg/cm²

SOLDADURA A TOPE

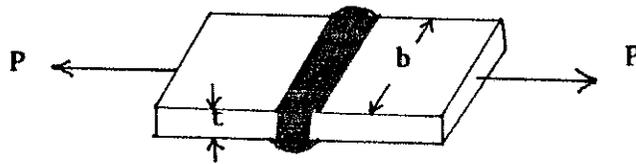


FIGURA 7

1.3 PRINCIPIOS GENERALES DE CALCULO DE CARGA TERMICA Y DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Para realizar los cálculos necesarios en el diseño del tanque homogenizador-emulsificador, se utilizaron las ecuaciones siguiente:

De la forma común de expresar la Primera Ley de la Termodinámica para un sistema abierto que opera en estado estable (sus variables no cambian con el tiempo), con una entrada y una salida de flujo, es:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}(h_2 - h_1 + \frac{\bar{V}_2^2 - \bar{V}_1^2}{2} + g(Z_2 - Z_1)) \quad (1-3)$$

\dot{Q} = calor agregado al sistema o cedido hacia los alrededores.

\dot{W} = trabajo agregado al sistema o cedido hacia los alrededores.

\dot{m} = flujo másico que entra y sale del sistema.

h_1 = entalpía del fluido a la entrada en 1.

h_2 = entalpía del fluido a la salida en 2.

V_1 = velocidad del fluido a la entrada en 1.

V_2 = velocidad a la salida en 2.

Z_1 = altura a la entrada en 1 respecto a un plano de referencia.

Z_2 = altura a la salida en 2 respecto a un plano de referencia. (Véase FIGURA 8).

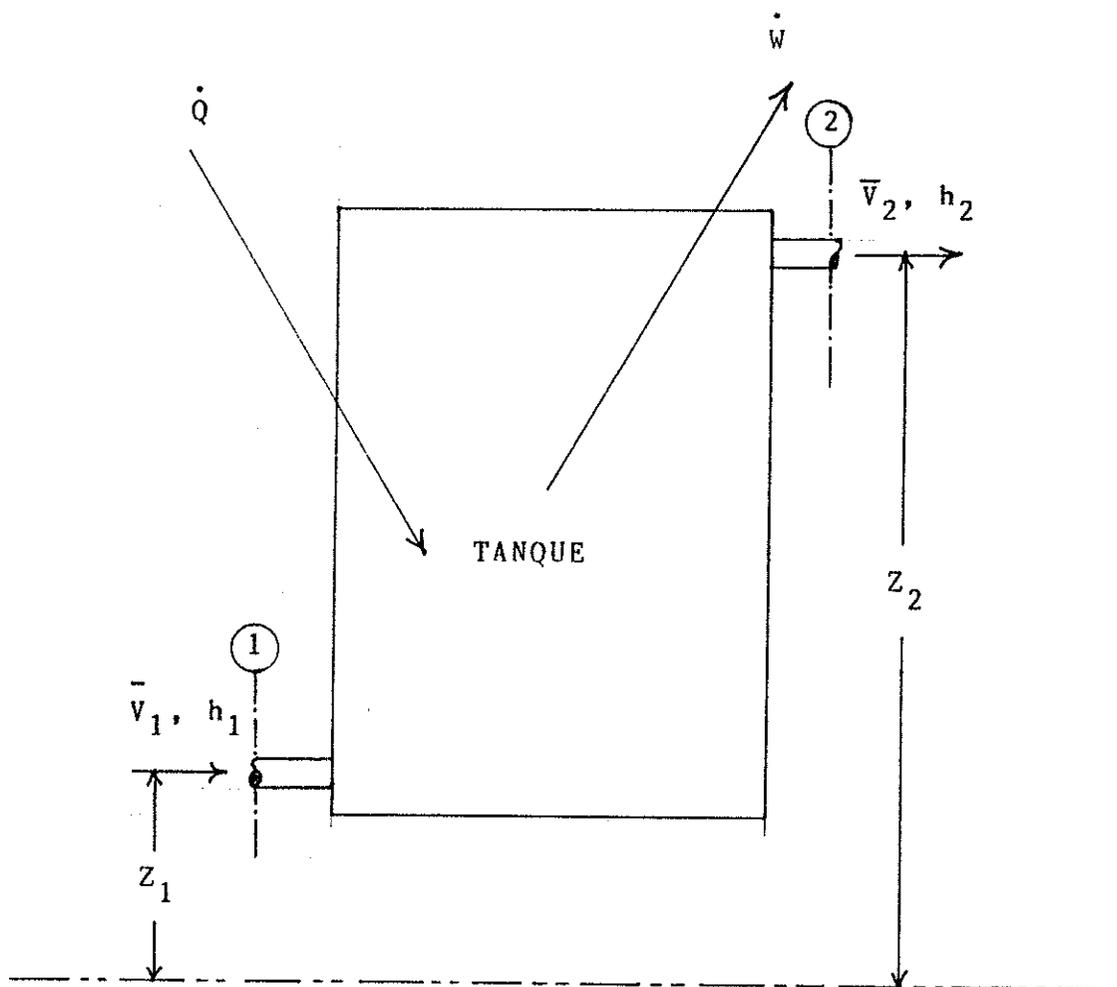


FIGURA 8. Sistema abierto con una entrada y una salida de flujo para las condiciones del tanque.

Para un intercambiador de calor la expresión que representa el flujo de calor que fluye a través de sus paredes, es¹

$$Q = UA\Delta T \quad (1-4)$$

U = coeficiente total de transferencia de calor .
(Consultar TABLA 4).

A = área total perpendicular al flujo de calor.

ΔT = diferencia media logarítmica de las temperaturas².

$$T = \ln \frac{\Delta t_{\text{mayor}}}{\Delta t_{\text{menor}}} \quad (1-5)$$

(Consultar DIAGRAMA 1).

La ecuación que describe el flujo de calor a través de la pared de un cilindro, es

$$\frac{Q}{L} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{h_1 \pi d_1} + \frac{\ln(d_2/d_1)}{2\pi K_{1-2}} + \frac{1}{h_2 \pi d_2}} \quad (1-6)$$

$\frac{Q}{L}$ = flujo de calor transmitido por unidad de longitud L de la pared perpendicular al flujo de un cilindro.

$T_1 - T_2$ = diferencia total de temperatura, entre la temperatura interna del tanque y la temperatura exterior.

¹José A. Manrique, et. al. **Termodinámica** (México: Edit. Harla, 1976), p. 32.

²Burgess H. Jennings, et. al. **Aire Acondicionado y refrigeración.** Decimaprimera impresión (México: Edit. C.E.C.S.A., 1,983), p. 348.

h_1, h_2 = coeficiente de transferencia de calor por convección. (Véase TABLA B).

k = coeficiente de conductividad térmica de los materiales. (Véase TABLAS A, 2 y 3).

d_1 = diámetro interno del cilindro.

d_3 = diámetro externo del cilindro³.

³Manrique, op. cit., p.303

1.4 USO Y RECOMENDACION PARA LAS APLICACIONES DEL ACERO INOXIDABLE

Para la designación de los aceros resistentes a la corrosión, se han empleado a través del tiempo las denominaciones que las fábricas les han impuesto, buscando unas expresiones más o menos comerciales, que faciliten la comprensión del acero de que se trata.

La expresión propiamente dicha de "acero inoxidable" se emplea de modo amplio para expresar todo cuanto se quiere manifestar que es capaz de soportar la acción atmosférica, o bien el ataque de los ácidos en caliente o frío, y también la oxidación a temperaturas elevadas. Sin embargo, "acero inoxidable" es una frase o designación de fábrica, que en su origen fue aplicada a los aceros de cuchillería, cuyo contenido de carbono era inferior al 0.7 %, con un 9 a 16 % de cromo. Esta aleación fue ya planteada por el doctor Brearly en 1,916, quien fue un metalúrgico inglés. El acero inoxidable, que se fabrica en los Estados Unidos, es una aleación simple de hierro cromo, protegida por una patente propiedad de la American Stainless Co., de Pittsburgh.

Las aplicaciones de los aceros inoxidables pueden considerarse divididas en dos grandes grupos. El primero de ellos es el que recoge las necesidades de una alta resistencia a la corrosión, y también la elevada resistencia a la oxidación a alta temperatura. En el segundo, se agrupan los aceros a los que se les demanda unas características, no propiamente de inoxidable, sino que deben poseer unas propiedades mecánicas de dureza, resistencia, tenacidad o ductilidad, etc. y en muchos casos, una resistencia notable al desgaste por rozamiento y esmerilado.

De acuerdo con la estructura de los aceros inoxidable. éstos suelen clasificarse en: austeníticos y ferríticos, según sea la microestructura obtenida después de haber sido calentado a elevada temperatura y enfriados seguidamente a la temperatura ambiente. La importancia de esta clasificación es notable porque de su estructura microscópica dependen en gran parte sus propiedades como generalmente ocurre.

1.4.1 ACEROS IONOXIDABLES AUSTENITICOS

Se debe dejar anotado en forma clara que el concepto que se refleja con la palabra "austenita", es el de un contituyente formado por solución sólida de carburo de hierro en hierro gamma (γ), que a su vez es el estado alotrópico (diferencia que en su aspecto, textura y otras propiedades puede presentar un mismo cuerpo) del hierro a temperatura alta. La austenita se forma en los aceros al ser éstos calentados después de traspasado el punto de transformación. Es importante añadir que la austenita no es magnética. Esta característica se infiere, por tanto, a los aceros inoxidable de este grupo.

Los aceros inoxidable austeníticos tienen como principales componentes el cromo (12-25%) y al níquel (8-25%). Debido al porcentaje grande de níquel y al tratamiento térmico adecuado, la estructura de este tipo de acero inoxidable, es distinta de las de los dos grupos siguientes. El acero austenítico obtenido de este modo se caracteriza por su buena resistencia a la tracción, que es 65 Kg/mm², así como por su buena tenacidad y ductilidad. El límite de fluencia del acero austenítico, sin embargo, es bajo relativamente, de unos 25 Kg/mm², y en este estado, el material no es magnético.

Los aceros austeníticos no admiten temple, pero mediante el mecanizado en frío se puede elevar considerablemente, tanto el límite de fluencia como el límite de rotura. En estado de recocido dulce y una vez decapados y pulidos, su resistencia a la corrosión es mayor. Los aceros austeníticos pueden soldarse fácilmente, para obtener soldaduras tenaces y seguras.

1.4.2 ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS

Su formación cristalina básica es la martensita; ésta es una solución sólida de carburo de hierro en el hierro (α). Es constituyente duro de los aceros templados. El enfriamiento desde la temperatura de temple, debe ser rápido y efectuarse en agua en los casos de acero al carbono, y en aceite o al aire en determinados casos de aceros especiales.

Contienen al cromo componente principal, en proporciones que oscilan entre el 12 y el 18%. Las calidades varían también con las proporciones del contenido de carbono, que varía desde 0.10 a 1.6%. Cuando son templados, adquieren estructura martensítica (dura) t ; según sea este contenido de carbono, se obtiene la dureza de forma graduada. Mediante el temple y revenido del acero de poco carbono, que oscila entre el 0.10 y el 0.20 %, se alcanzan valores de dureza y resistencia comparables al de los aceros corrientes de aleación cromo níquel, templados y revenidos. Por el contrario, los aceros de este grupo con mayor contenido de carbono, que se halle de 0.30 a 1 %, tienen propiedades que son parecidas a las

de los aceros de aleación para herramientas en general y cortantes.

Todos los aceros de este grupo templan al aceite o aire. El estado normal de suministro es el de recocido, pero también es posible adquirirlo en los estados de templado y revenido. O como sucede con el fleje de acero laminado en frío para usos especiales, como la fabricación de hojas de afeitar, templados aun a mayor dureza. Este tipo de acero sí es magnético.

Debido a que pueden templar el aire, los aceros martensíticos no se prestan bien a la soldadura, ya que los puntos soldados quedan duros y quebradizos, y se producen fuertes tensiones en el material. En este grupo de aceros, la resistencia a la corrosión es mayor cuando están templados y pulidos.

1.4.3 ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS

Teniendo en cuenta que la ferrita es el hierro en estado alfa (α), que es el estado alotrópico (diferencia que en un aspecto, textura y otras propiedades puede presentar un mismo cuerpo) del hierro a temperatura baja, cristalizado en forma cúbica, se presenta libre en los aceros que contienen menos de 0.90 % de carbono, y forman granos irregulares mezclados con perlita. La perlita es una mezcla formada por la ferrita y cementita, que generalmente se halla dispuesta en forma de láminas alternadas. El porcentaje de carbono de la mezcla es de 0.90 %. Por medio de un recocido muy prolongado y alrededor de 700° C, las láminas de cementita se encogen, y abandonan su forma alargada para reunirse y formar glóbulos de cementita que quedan sobre un fondo de

ferrita. La cementita es el constituyente del acero más duro, así como también en las fundiciones. Tiene su composición bien definida y pertenece a la fórmula Fe_3C , o sea, un carburo triférrico. Se presenta en los aceros con más de 0.90 % de carbono.

Los aceros ferríticos son muy resistentes a la corrosión y al calor; y, asimismo, son magnéticos.

1.4.4 SELECCION DEL ACERO INOXIDABLE

Normalmente, es siempre difícil proceder a elegir correctamente el acero resistente a la corrosión, al ácido y al fuego, pues no solamente debe tenerse en cuenta su resistencia a la corrosión, sino también sus propiedades mecánicas, como la dureza y carga admisible, resistencia al desgaste y la fatiga, y también las posibilidades de mejorar estas propiedades mediante el temple y revenido. También se debe tener en cuenta si el acero deberá ser trabajado en frío o en caliente, o bien soldarse sin el subsiguiente tratamiento térmico, para elegir la calidad cuyas propiedades no se perjudique por estas operaciones.

Para este caso en particular, se selecciona de la TABLA 1, un acero inoxidable 304 para uso en equipo químico en general.

4
Tabla I PROPIEDADES TÍPICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES

Número	Análisis químico porcentajes	Condición	Resistencia a la tracción, lb/pulg x 10 ³	Resistencia a la fluencia, lb/pulg x 10 ³	Alargamiento porcentajes	BHN	Uso típico
Aceros austeníticos							
301	17 Cr, 7 Ni	Recocido Trabajado en frío	110 185	40 140	60 9	160 388	Equipo de transporte liviano, resistente
304	19 Cr, 10 Ni	Recocido Trabajado en frío	85 110	35 75	60 12	149 240	Equipo químico en general
347	18 Cr, 11 Ni†	Recocido	90	35	45	160	Construcción soldada
Aceros ferríticos							
430	16 Cr, <0.1 C	Recocido Trabajado en frío	80 90	55 80	25 20	140 200	Guarniciones para automóviles, equipo de cocina
Aceros martensíticos							
410	12 Cr, 0.15 C	Recocido Trabajado en frío	70 140	40 100	30 20	155 300	Resortes, de uso general
440C	17 Cr, 1 C	Recocido Templado y revenido	110 285	55 275	14 2	230 580	Instrumentos, cuchillería, válvulas
Aceros endurecidos por precipitación							
17-7PH	17 Cr, 7 Ni, 1 Al	Endurecido	235	220	6	400	Partes de cuerpos de aviones
Aceros martensíticos envejecidos							
Acero martensítico envejecido	18 Ni, 7 Co;	Martensítico envejecido	275	268	11	500	Componentes de aviones

† Multiplique psi por 6.9×10^{-7} para obtener MN/m² o por 7.03×10^{-4} para obtener kg/mm².

† El análisis de la austenita cambia del 2% de carbono al 0.8% de carbono, a medida que disminuye la temperatura.

† Se seguirán utilizando las temperaturas de equilibrio de hierro-carburo de hierro en esta sección introductoria para mayor sencillez. Mas adelante se modificarán estos comentarios al estudiar las aleaciones comerciales que contienen, por ejemplo, silicio.

4 Richard Flinn. et. al. **Materiales de Ingeniería y Sus Aplicaciones** (México: Edit. McGraw-Hill, 1980), p. 210.

CAPITULO 2

2. DESCRIPCION Y CONDICIONES QUE DEBE CUMPLIR EL EQUIPO

2.2 CONDICIONES QUE DEBE CUMPLIR EL EQUIPO

El proceso par emulsionar vacuna exige condiciones extremas de esterilidad y a su vez las condiciones que permitan el control total del preceso, ya que se trabaja con organismos vivos, los cuales son sensibles a los cambios bruscos de temperatura, humedad y a la contaminación por otros organismos. Debe entonces el homogenizador cumplir con lo siguiente:

- a- Acceso fácil a todos sus componentes para su limpieza
- b- Que sea totalmente hermético al medio.
- c- El material de fabricación no debe contaminar el proceso.
- d- Condiciones para ser esterilizado hasta una temperatura de 121° C por una hora por medio de vapor.
- e- Enfriamiento inmediato después de ser esterilizado, primero con agua a 28° C, y después con agua a 4° C para evitar choque térmico en la estructura del tanque.
- f- Inyección al tanque de aire estéril para mantener una presión positiva dentro del tanque, para ser posteriormente cargado con el producto.
- g- Puertos de acceso esterilizables para la

inyección de aire estéril, vapor, producto que se va a emulsionar y tomamuestras.

h- En el lapso requerido para lograr la emulsión, la temperatura se debe mantener constante a 8° C, que es la condición necesaria para llevar a cabo el proceso, debido a que el impulsor del homogenizador tiende a elevar la temperatura interna hasta 40° C.

i- El puerto de salida del producto debe ser esterilizable.

j- Condiciones para ser esterilizado de inmediato para su posterior limpieza y desinfección.

2.2 DIMENSIONES DEL EQUIPO

Las dimensiones del equipo fueron hechas según las necesidades del laboratorio, tanto en volumen de producción como de movilidad, ya que está montado sobre una plataforma con rodos, con el fin de ser transportado a otras áreas de proceso. (Véase dimensiones en el dibujo No. 1 Cap. 5).

2.3 DESCRIPCIONES DE LAS CONEXIONES PERIFERICAS PARA SU FUNCIONAMIENTO E INSTALACION

Por ser un equipo que puede ser desplazado de un lugar a otro, los acoples de acceso al tanque deben ser de fácil desmontaje, con lo cual se convierte en una unidad móvil de uso múltiple en la fabricación de vacuna. (Véase dibujos Nos. 2 y 4 Cap. 5).

Puede verse en el ingreso de producto y efluentes del tanque; se dejan puertos de acceso esterilizables

por vapor directo. (Véase dibujos Nos. 2 y 4 Cap. 5).

también se debe de hacer un arreglo tal que se puedan esterilizar todas las líneas de aire estéril, vapor y de paso de producto.

El tanque lleva un visor de vidrio Pyrex de 3/4" de espesor y 3" de diámetro que permite un acceso visual al tanque; también tiene otro visor que tiene un reflector que ilumina interiormente el tanque. (Véase dibujos Nos. 2 y 3, Cap. 5).

Debe de llevar un manómetro que indique la presión interna del tanque y un manómetro que indique la presión de la camisa, así como un termómetro en el tanque que indique la temperatura de trabajo que es de 8° C. (Véase dibujos 1, 2 y 3, Cap. 5).

El sistema de aire estéril, como el de vapor, deben tener filtros esterilizables para evitar la contaminación. (Véase dibujo No. 5, Cap. 5).

El eje del homogenizador debe quedar aislado del medio por medio de un sello mecánico con barreras de vapor, tanto en la parte interior en contacto con el producto, como en la parte externa para evitar entrada o salida de contaminación del tanque. (Véase dibujo No. 6, Cap. 5).

Se dejan válvulas reguladoras de presión en las líneas de vapor y de aire estéril, para prevenir una sobrepresión en el tanque.

CAPITULO 3

3. CALCULO DE DISEÑO PARA EL TANQUE HOMOGENIZADOR EMULSIFICADOR

3.1 CALCULO DE ESFUERZOS DEL TANQUE

En la tabla 1, están las propiedades mecánicas nominales para acero inoxidable 304 recomendado para trabajos en equipo químico en general:

Resistencia a la tracción	85 Klbs/plg ²
Resistencia a la fluencia	35 Klbs/plg ²
Presión interna de diseño	70 lbs/plg ²
Presión de trabajo	25 lbs/plg ²
Para un coeficiente de seguridad igual a 2	

De la ecuación (1-1)

$$\frac{\sigma_{\phi}}{r_1} + \frac{\sigma_{\theta}}{r_2} = \frac{P_z}{h}$$

Para la dirección de :

$$r_1 = \infty$$

$$r_2 = r = 11.36''$$

$$P_z = P$$

VEASE FIGURA 5 (cap. 1)

VEASE DIBUJO No. 1

Entonces $\frac{\sigma_{\theta}}{r} = \frac{P}{h}$; despejando para σ_{θ} y para h:

$$\sigma_{\theta} = \frac{Pr}{h} \quad Y \quad h = \frac{Pr}{\sigma_{\theta}}$$

En la dirección de σ_{ϕ} , VEASE FIGURA 5, Cap. 1)

$$\begin{aligned} \sum F_h &= 0 \\ -P\pi r^2 + 2\pi r h \sigma_{\phi} &= 0 \end{aligned}$$

Donde P = a la presión interna

πr^2 = al área en que actúa la presión

$\pi r^2 h$ = área de la sección del cilindro

σ_ϕ = esfuerzo en la dirección longitudinal

$$\text{despejando se tiene } \sigma_\phi = \frac{pr}{2h}$$

Para fines de diseño, se calcula con $\sigma_\theta = Pr$ que es el doble que $\sigma_\phi = Pr$

$$\text{Sustituyendo para } h = \frac{pr}{\sigma_\theta}$$

$$\text{Entonces } h = 70 \text{ lbs/plg}^2 * 11.36 \text{ plg} =$$

$$\text{Entonces } h = 0.04544 \text{ plg}$$

$$1/32" = 0.03125 < 0.04544 < 1/16" = 0.0625$$

1/32" y 1/16" son los calibres comerciales de la lámina.

3.2 CALCULO DE ESFUERZOS EN SOLDADURA

Según el Código de Soldaduras por Fusión de la Sociedad Americana de Soldadura (A.W.S.), determina que la tensión de trabajo de tracción en soldadura es 910 Kg/cm² = σ_{sol} . Capitulo 1 (1.2.2))

$$\sigma_{sol} = 910 \text{ Kg/cm}^2 * (100)^2 \text{ cm}^2/\text{m}^2 * 1 \text{ lb/pie}^2 * 1 \text{ pie}^2$$

$$\sigma_{sol} = 12,943.24 \text{ lb/plg}^2$$

De la ecuación (1-1) para un cilindro en la dirección de σ_θ :

$$r_1 = \infty$$

$$r_2 = r = 11.36'' \quad \text{VER FIGURA 5 (Cap. 1)}$$

$$P_z = P = 70 \text{ lb/plg}^2 \quad \text{VER DIBUJO No. 1 para las dimensiones Cap. 5}$$

$$\text{Para } h = \frac{pr}{\sigma_{\theta}}$$

$$\text{Sustituyendo } h = \frac{70 \text{ lb/plg}^2 * 11.36 \text{ plg}}{35/2 \text{ Klb/plg}^2} = 0.06143$$

$$1/32'' = 0.03125 < 0.06143 < 0.0625 = 1/16''$$

1/32" y 1/16" son los calibres comerciales de la lámina. Por lo que se debe de usar lámina de 1/16" de acero inoxidable 304 recomendado para equipo químico en general, según TABLA 1.

3.3 CALCULO DE LA CARGA TERMICA

Para las condiciones del tanque, Véase DIBUJO NO. 1, Cap. 5.

$$d_1 = 22.72 \text{ plgs} = 1.8933 \text{ pies}$$

$$d_2 = 22.84 \text{ plgs} = 1.9033 \text{ pies}$$

$$\text{Temperatura de esterilización} = 249^\circ \text{ F}$$

Aislante térmico para la fibra de vidrio con $K = 0.27$, según tabla de conductividades térmicas No. 2.

$$\text{Temperatura ambiente del cuarto} = 71.6^\circ \text{ F}$$

Para acero inoxidable 304, haciendo uso de la tabla de conductividad térmica 3, $k_t = k_{t_0} - a(t - t_0)$, donde t es la temperatura interna y t_0 temperatura externa o del ambiente; los demás términos están en la tabla número 3. Por lo tanto $K = 8.08 - (-0.0052)(249 - 71.6)$, entonces $k = 9 \text{ BTU/h}$

De la ecuación (1-6),

$$\frac{Q}{L} = \frac{T_{1,e} - T_{2,e}}{\frac{1}{h_1 d_1} + \frac{\ln(d_2 / d_1)}{2 k_{1-2}} + \frac{1}{h_2 d_2}}$$

De la tabla B

$$h_1 = \frac{35000 \text{ J/s} * \text{BRU/J}(1.055056 * 10^3) * 3600 \text{ s/h}}{\text{m}^2 \text{K} * (3.281^2) \text{pie}^2 / \text{m}^2 * \text{F}}$$

$$h_1 = 11088.14 \frac{\text{BTU/h}}{\text{pie}^2 \text{F}}$$

Tabla 2A. Orden de Magnitud del coeficiente de transferencia de Calor h ,⁵

Situación	h , $W/m^2 K$	
Convección libre, en aire	5	25
Convección forzada, en aire	10	500
Convección forzada, en agua	100	15000
Agua en ebullición	2500	25000
Condensación de Vapor de agua	5000	100000

TABLA 2B. (Continuación)⁶

k en $\frac{(Btu)(plg)}{(hr)(pie^2)(^{\circ}F)}$; C en $\frac{Btu}{(hr)(pie^2)(^{\circ}F)}$, para el espesor correspondiente del material]

Material	Tipo y condición	Masa específica lb/plg ³	Temp. media (°F)	Conductividad térmica k	Resistencia por plg $\frac{1}{k}$	
	Fibras de lana de vidrio	1.50	75	0.27	3.70	
	Corteza de madera	3.0	90	0.31	3.22	
		5.0	75	0.26	3.84	
	Corcho regranulado en partículas	8.1	90	0.31	3.22	
	Lana mineral	10.0	90	0.27	3.70	
	Aserrín	12.0	90	0.41	2.44	
	Vermiculita, expandida	7.0	70	0.48	2.08	
	Raspaduras de madera	8.8	90	0.41	2.44	
	Aislamiento de losas: Vidrio celular (espuma de vidrio)	9.0	75	0.42	2.38
			9.0	60	0.38	2.62
		9.0	300	0.55	1.82	
Placas de corcho	No prensado	10.6	90	0.30	3.33	
		7.0	90	0.27	3.70	
Placas de corcho Lana mineral (roca)	Asfáltico prensado	14.5	90	0.32	3.12	
	.....	15.7	90	0.32	3.12
		15.7	30	0.29	3.44	
Fragmentos de madera y cemento "Styrofoam"	.....	29.8	....	0.77	1.30
	.....	1.3-2.0	40	0.23-0.30	4.35-3.33

⁵ José A. Manrique, et. al. *Termodinámica* (México: Edit. Harla, 1976), p. 298.

⁶ Burgess H. Jennings, et. al. *Aire Acondicionado y Refrigeración*. Decimaprimerá impresión (México: Edit. C.E.C.S.A., 1,983), p. 128.

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONDUCCIÓN Y CONVECCIÓN⁷

Tabla 3. Conductividades térmicas de los metales*

$k = \text{Btu}/\text{h}/\text{pie}^2/^\circ\text{F}/\text{pie}$

$k_t = k_{t_0} - a(t - t_0)$

Sustancia	Intervalo de temperatura, °F	k_{t_0}	a	Sustancia	Intervalo de temperatura, °F	k_{t_0}	a
Metales:				Uranio.....	70-770	14	-0.007
Aluminio.....	70-700	130	0.03	Vanadio.....	70	20	—
Antimonio.....	70-212	10.6	0.006	Zinc.....	60-212	65	0.007
Berilio.....	70-700	80	0.027	Zirconio.....	32	11	—
Cadmio.....	60-212	53.7	0.01	Aleaciones:			
Cobalto.....	70	28	—	Metal del Almirantazgo	68-460	58.1	-0.054
Cobre.....	70-700	232	0.032	Latón	-265-360	61.0	-0.066
Germanio.....	70	34	—	(70% Cu, 30% Zn).....	360-810	84.6	0
Oro.....	60-212	196	—	Bronce, 7.5% Sn	130-460	34.4	-0.042
Hierro, puro.....	70-700	41.5	0.025	7.7% Al.....	68-392	39.1	-0.038
Hierro, forjado.....	60-212	34.9	0.002	Constantan	-350-212	12.7	-0.0076
Acero (1% C).....	60-212	26.2	0.002	(60% Cu, 40% Ni).....	212-950	10.1	-0.019
Plomo.....	32-500	20.3	0.006	Dural 24S (93.6% Al,			
Magnesio.....	32-370	99	0.015	4.4% Cu, 1.5% Mg,	-321-550	63.8	-0.083
Mercurio.....	32	4.8	—	0.5% Mn).....	550-800	130.	+0.038
Molibdeno.....	32-800	79	0.016	Inconel X (73% Ni			
Níquel.....	70-560	36	0.0175	15% Cr, 7% Fe,			
Paladio.....	70	39	—	2.5% Ti).....	27-1070	7.62	-0.0068
Platino.....	70-800	41	0.0014	Manganin (84% Cu,	1070-1650	3.35	-0.0111
Plutonio.....	70	5	—	12% Mn, 4% Ni).....	-256-212	11.5	-0.015
Rodio.....	70	88	—	Monel (67.1% Ni,			
Plata.....	70-600	242	0.058	29.2% Cu, 1.7% Fe,			
Tántalo.....	212	32	—	1.0% Mn).....	-415-1470	12.0	-0.008
Talio.....	32	29	—	Plata de níquel			
Torio.....	70-570	17	-0.0045	(64% Cu, 17% Zn,			
Estaño.....	60-212	36	0.0135	18% Ni).....	68-390	18.1	-0.0156
Titanio.....	70-570	9	0.001				
Volframio.....	70-570	92	0.02				

*Para refractarios véase la Sección 6; para aislantes de tuberías, la Sección 8; para materiales de construcción, la Sección 4. Los factores de conversión para diversas unidades aparecen en la Sección 1. Las Tablas 3-7 fueron revisadas por G.B. Wilkes.

CONDUCCIÓN Y CONVECCIÓN

Conductividad térmica de las aleaciones de níquel-cromo con hierro

$k_t = k_{t_0} - a(t - t_0)$

Número ANSI	Intervalo de temperatura °F	k_{t_0}	a
301, 302, 303, 304 (303 Se, 304 L).....	95-1650	8.08	-0.0052
310 (310S).....	32-1650	6.85	-0.0072
314.....	80-572	10.01	-0.00124
	572-1650	6.20	-0.0045
316 (316 L).....	-60-1750	7.50	-0.0042
321, 347 (348).....	-100-1650	8.22	-0.0050
403, 410 (416, 416 Se, 420).....	-100-1850	15.0	0
430 (430 F, 430 F (Se)).....	122-1650	12.60	-0.0012
440 C.....	212-932	12.77	-0.0043
446.....	32-1850	12.96	-0.0050
501, 502.....	80-1520	21.4	+0.0037

⁷Theodore Baumeister, et. al. Manual del Ingeniero Mecánico. Octava edición en Inglés, 2a. en Español (Mexico: Edit. McGraw-Hill, 1,994), p. 4-60

$$h_2 = \frac{5 \text{ J/s} * \text{BTU/J}(1.055056*10^3)*3600/\text{h}}{\text{m}^2\text{K}(3.281^2)\text{pie}^2/\text{m}^2 * \text{F}} =$$

$$h_2 = \frac{1.6 \text{ BTU/h}}{\text{pi}^3 \text{ F}}$$

$$\frac{\dot{Q}}{L} = \frac{249 - 71.6}{\frac{1}{(11088.14)(22.72/12)} + \frac{\ln(22.84/22.74)}{2\pi 9} + \frac{1}{(1.6)\frac{\pi(28.84)}{12}}} =$$

$$\frac{\dot{Q}}{L} = \frac{177.4}{0.0000152 + 0.0000776 + 0.1045238} =$$

$$\frac{\dot{Q}}{L} = 1695.7 \text{ BTU/pie}$$

Para reducir la transferencia de calor en un 58%

$$1695.7 * 0.42 = 712.194 \text{ BTU/pie}$$

De la TABLA 2, la conductividad térmica de la fibra de vidrio es $k = 0.27 \text{ BTU/plg}$

$$\frac{\dot{Q}}{L} = \frac{177.4}{0.0000152 + 0.0000776 + \frac{\ln(d_3/1.9033)}{2\pi(0.27)} + \frac{1}{1.6\pi(d_3)}} =$$

$$712.194 \text{ BTU/pie}$$

Por tanteo $d_3 = 2.543 \text{ pies}$

$$\frac{d_3 - d_2}{2} = \frac{2.543 - 1.9033}{2} = \frac{0.6397 \text{ pies}}{2} = 3.8 \text{ plg}$$

El aislante del tanque debe de ser de fibra de vidrio con un espesor de 4 pulgadas.

3.3.1 CALCULO DEL EQUIPO DE REFRIGERACION, Y DE LA CANTIDAD DE AGUA DE ENFRIAMIENTO

Para un intercambiador de calor la expresión que representa el flujo de calor que fluye a través de sus paredes es

$$Q = UA\Delta T \quad \text{Véase Ec. (1-4)}$$

Donde U es el coeficiente total de transferencia de calor, A es el área total perpendicular al flujo de calor, y ΔT es la diferencia media logarítmica de las temperaturas $T = \frac{\ln \Delta t_{\text{mayor}}}{\Delta t_{\text{menor}}}$

De la tabla 4, se selecciona para cambiadores tubulares agua a aceite $U = \frac{50 \text{ BTU}}{h \text{ pie}^2 \text{ F}}$

Para calcular el área A , de las dimensiones del tanque según dibujo No. 1, Cap. 5, tenemos:

$A = \text{Area de la pared del cilindro} + \text{area del sector esférico que forma el fondo del tanque}$

$$A = \frac{\pi r(4h + S)}{2} + 2\pi rh$$

(Véase DIBUJO No. 1, Cap. 5).

$$\begin{aligned} A_{\text{sector esférico}} &= \frac{\pi 18(4(4) + 22.72)}{2} = 1094.78 \text{ plg}^2 \\ &= 7.6 \text{ pie}^2 \end{aligned}$$

TABLA 4. COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR* PARA CALENTADORES (O ENFRIADORES) Y CAMBIADORES DE CALOR

Tipo de cambiador de calor	U convección libre	U convección forzada	Observaciones
Condensadores de amoniaco			
Atmosférico			
Gas en la parte superior	50-65		
Gas en el fondo	125-200		
Doble tubo		150-250	Velocidad del agua 150-400 pies/min.
Coraza y tubo		150-300	
Serpentín inundado		30-40	Muy inefectivo.
Enfriadores Baudelot			
Crema	55		
Leche	70		
Aceite	10		
Agua	70		
Enfriadores de salmuera			
Coraza y tubos múltiples		40-190	Velocidad de la salmuera 100-400 pies/min a 0 F; U disminuye abajo y aumenta arriba de esta temperatura.
Refrigerante inundado serpentín en depósito salmuera	12	20	
Serpentines de enfriamiento			
Tubo de salmuera con aire en movimiento		3.0-8.0	Velocidad del aire 200-800 pies/min aumenta con la diferencia de temperaturas.
Con aire tranquilo	1.5-3.0		
Serpentines expansión directa			
Serpentines con aletas para aire. Calor sens. Coef. Pel. (f.)†	300 400 500 4.3 5.1 5.8	600 700 800 8.5 7.2 7.7	
Aire tranquilo	1.0-3.0		Aumenta con la diferencia de temperaturas.
Aire en movimiento		2.0-7.0	Velocidad del aire 200-800 pies/min.
En líquido atomizado		80	
Refrigerante (Freón) factor de superficie de película (f)	[150-250]		Aumenta con la capacidad de la carga de los tubos; también con la diferencia de temperaturas, metal a líquido.
Cloruro de metileno, factor de superficie, (f)	[100-300]		At metal a líquido 5 a 25°.
Cambiadores de calor de tubo doble		80	
Radiadores			
Vapor directo	1.4-2.0		
Serpentín en el cuarto	2.6		
Serpentín arriba de otro	2.6-1.6		El número aumenta de 1 a 8.
Condensadores de vapor			
Tipo coraza y tubo		100-160	Velocidad del agua 0.5 a 6 pies/seg.
Vapor sobrecalentado			
Coraza y tubo		25	

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

TABLA (Continuación)⁸

Tipo de cambiador de calor	<i>U</i> convec- ción libre	<i>U</i> convec- ción forzada	Observaciones
Cambiadores tubulares			
Vapor a aceite		75	
Aceite a aceite	5-10	20-50	
Agua a aceite		50	
Agua a agua	25-60	150-300	
Calentadores de agua			
Serpentín vapor en depósito (latón)	30-200		{ Aumenta con la diferencia de temperaturas de 10 a 100 grados. Menos corrosión con tubos de latón y cobre.
Serpentín vapor en depósito (acero)	10-160		

* *U* en Btu por hora pie cuadrado grado F de diferencia media de temperatura, fluido a fluido, o *f* en Btu por hora pie cuadrado grado F de diferencia media de temperatura, metal a fluido.

† Los números *italicos* arriba de los valores en la segunda y tercera columnas son velocidades en la superficie en pies por minuto.

⁸Burgess H. Jennings, et al. Aire Acondicionado y refrigeración. Decimaprimerá impresión (México: Edit. C.E.C.S.A., 1,983), p. 347.

$$A_{\text{cilindro}} = (1.8933)(1.75) = 10.4 \text{ pi}^2$$

$$\text{Entonces } \Lambda = 6.6 + 10.4 = 18 \text{ pie}^2$$

Para ΔT considerando que en el intercambiador se comportan los flujos en corrientes paralelas, entonces del DIAGRAMA no. 1, la temperatura media logarítmica es:

$$\Delta T = \ln (104 - 39.2) = 2.89^\circ \text{ F}$$

Sustituyendo en $Q = UA\Delta T$

$$Q = 50(18)(2.89) = 2601 \text{ BTU/h}$$

$$1 \text{ BTU/min} = 0.0235 \text{ HP}$$

$$Q = 2601 \text{ BTU/h} * \text{h}/60\text{min} * 0.0235 \text{ HP}$$

Entonces

$$Q = 1.019 \text{ que es aproximadamente igual a 1 HP}$$

El equipo de refrigeración puede ser con una capacidad de 1 HP, aunque el arreglo del sistema para el enfriamiento da ventajas en holgura de trabajo para el equipo, porque se diseña un tanque aparte con capacidad de varias veces el volumen del fluido que se va a enfriar, lo cual permite que el agua fría estancada alcance su temperatura de trabajo de 4° C antes de hacer funcionar el sistema.

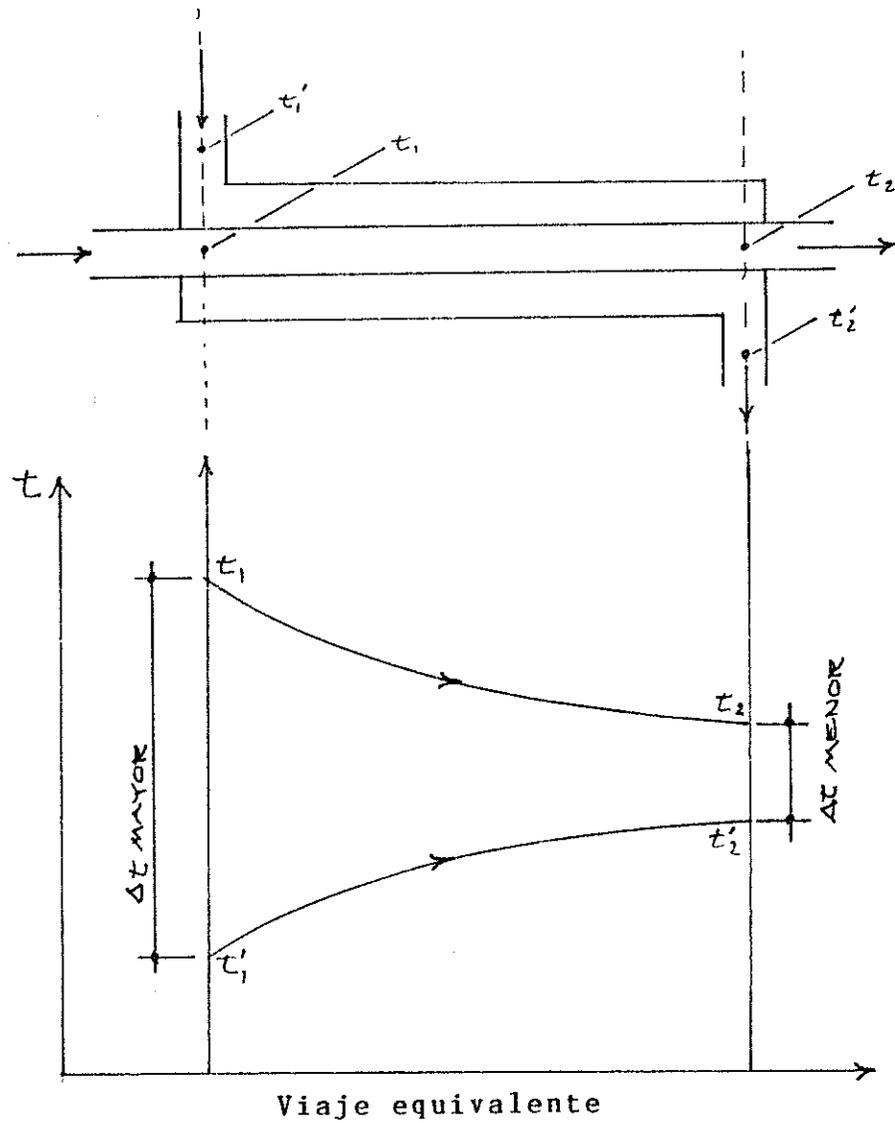


DIAGRAMA 1. Transferencia de calor a flujo paralelo.

Transferencia media logarítmica $\Delta t_m = \ln \left(\frac{\Delta t_{\text{mayor}}}{\Delta t_{\text{menor}}} \right)$

Para calcular la cantidad de agua necesaria para enfriar el sistema y mantener la temperatura de trabajo que es de 8° C, Véase el CAPITULO 2,

Utilizando la ecuación (1-0),

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} \left((h_2 - h_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(Z_2 - Z_1) \right) \quad (1-3)$$

Despreciando la energía cinética y potencial, queda

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

Considerando que es un sistema adiabático que opera en estado estable, en el que el trabajo es negativo porque el impulsor del homogenizador hace un trabajo en el fluido confinado en el sistema al elevar la temperatura hasta 40° C, entonces

$$\dot{W} = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

Para \dot{m}

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}}{(h_2 - h_1)}$$

Para un incremento de temperatura del agua de enfriamiento de 4° C a 6° C, tenemos

$$6 - 4 = 2 \text{ grados de incremento}$$

$$1 \text{ caloría} = 4.186 \text{ Jules}$$

CALORIA: energía térmica necesaria para elevar en 1° C la temperatura de un gramo de agua de 14.5° C a 15.5° C, bajo la presión normal atmosférica.

Para calcular la cantidad de Entalpía del agua agregada, debido al incremento de temperatura:

$$h = 2 \text{ cal/gm} * 4.186\text{J} * \text{BTU}/1.05506*10^3 * 453.6\text{gm/lb}$$
$$= 3.599\text{BTU/lb} \approx 3.6\text{BTU/lb}$$

Sustituyendo valores,

$$m = \frac{2601 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}}{3.6 \frac{\text{BTU}}{\text{LB}}}$$
$$m = 722.5 \text{ lb/h} * 453.6\text{gm/lb} * 1\text{t}/1000\text{gm} * \text{h}/60\text{min}$$
$$m = 5.46 \text{ lt/min de agua de enfriamiento.}$$

CAPITULO 4

4. CONSIDERACIONES PARA LA ELECCION DE LOS FILTROS PARA VAPOR Y AIRE, DISPOSITIVOS DE CONTROL DE PRESION, ADAPTACIONES PARA EL MONTAJE Y CONSIDERACIONES DE LA INSTALACION ELECTRICA

4.1 ELECCION DEL FILTRO PARA EL AIRE ESTERIL

La elección es para un filtro Hydrophobic Cartridge Filter. con una área de 1000 cm² Millidisk 20 MCGB2002. Sus especificaciones son para retención de bacterias, capacidad para ser múltiples veces esterilizado; es no dañino para la salud y no retiene la humedad. (Consultarse el catálogo 94/95 de Pharmaceutical Process Filtration Catalogue, Millipore Corporation 397 Williams Steet. Marlborough, MA 01752, EEUU).

4.2 DISEÑO DE LA CARCASA PARA EL FILTRO Y SUS CONEXIONES PERIFERICAS PARA SU ESTERILIZACION Y SALIDA DE CONDENSADOS

El filtro debe quedar totalmente hermético entre las paredes cilíndricas de la carcasa que lo contiene y con arreglo tal de ser desmontado fácilmente para su limpieza y desinfección posterior, así como para ser esterilizado por medio de vapor en su posición de trabajo sin desarmarlo, como también poder extraer los condensados. (Véase dibujo No. 5, Cap 5).

4.3 DISEÑO DE LOS ACCESOS Y EFLUENTES DEL TANQUE PARA SU ESTERILIZACION

Toda línea de acceso al tanque debe tener un arreglo tal, que permita su esterilización por medio de vapor, fácil limpieza y desinfección posterior. (Véase dibujos Nos, 3 y 4, Cap. 5).

4.4 REDISEÑO DEL APARATO HOMOGENIZADOR PARA SU ADAPTACION EN EL TANQUE

El aparato homogenizador es un Kalish Turbine Homogenizers modelo C, motor de 5 HP. 3600 RPM. Ver catálogo de H. G. Kalish Co. Ltd., Montreal 165 Oneida Drive, Pointe Claire, Que., Canada H9R149, Telex 05-822774, el cual está totalmente construido en acero inoxidable. Trabaja en tanque expuesto al medio ambiente, por lo que se adaptó para poder instalarlo en condiciones que permitan emulsionar la vacuna en un proceso totalmente aislado y estéril. Se le incorporó un sello mecánico en el eje con barreras de vapor en la parte interior en contacto con el producto, y en la parte exterior en contacto con el medio ambiente. Se hizo glange en acero inoxidable para acoplarlo en el tanque con empaques circulares de sección transversal circular (o'rings) para alta temperatura que permiten un acople totalmente hermético. (Véase dibujo No. 5, Cap. 5).

4.5 ELECCION DEL FILTRO DE VAPOR

El filtro elegido es un Polygasrd-CR Cartridge Filters CRO3code02V06 de 3.0um, suficiente para retener las partículas que el vapor pueda contener o arrastrar hasta el área de trabajo. Es esterilizable a una temperatura arriba de 126° C por 30 minutos hasta diez veces; no es contaminante y cumple con todas las normas necesarias para un proceso de fabricación de vacuna⁹.

⁹Pharmaceutical Process Filtration Catalogue 94/95, Milipore Corporation, 397 Williams Street, Marlborough, MA 01752, EEUU.

4.6 DISEÑO DE LA CARCASA PARA EL FILTRO DE VAPOR

El filtro debe quedar totalmente hermético entre las paredes cilíndricas de la carcasa que lo contiene, y con arreglo tal de ser desmontado fácilmente para su limpieza y desinfección posterior, así como para ser esterilizado por medio de vapor en su posición de trabajo sin desmontarlo, así como para poder extraer los condensados. (Véase DIBUJO No.5, Cap.5).

4.7 TIPOS DE DISPOSITIVOS NECESARIOS PARA MANTENER LAS PRESIONES DE AIRE Y VAPOR

Las líneas de aire estéril y vapor deben tener válvulas reguladoras que mantengan una presión de seguridad en las líneas de 30 PSI, para evitar una sobrepresión en el tanque que pueda rebasar la presión de diseño de 70 PSI. Además, para el proceso deben existir manómetros tanto en la entrada como en la salida de aire estéril y vapor, así también en el tanque y en la camisa para poder mantener un control directo de la presión y temperatura del proceso. Para el control de temperatura y presión, éste se puede hacer manualmente por medio de válvulas, así como el paso de agua a 4° C para el enfriamiento. (Véase DIBUJO NO.2, Cap. 5).

4.8 CONSIDERACIONES Y DISCUSION PARA LA INSTALACION ELECTRICA

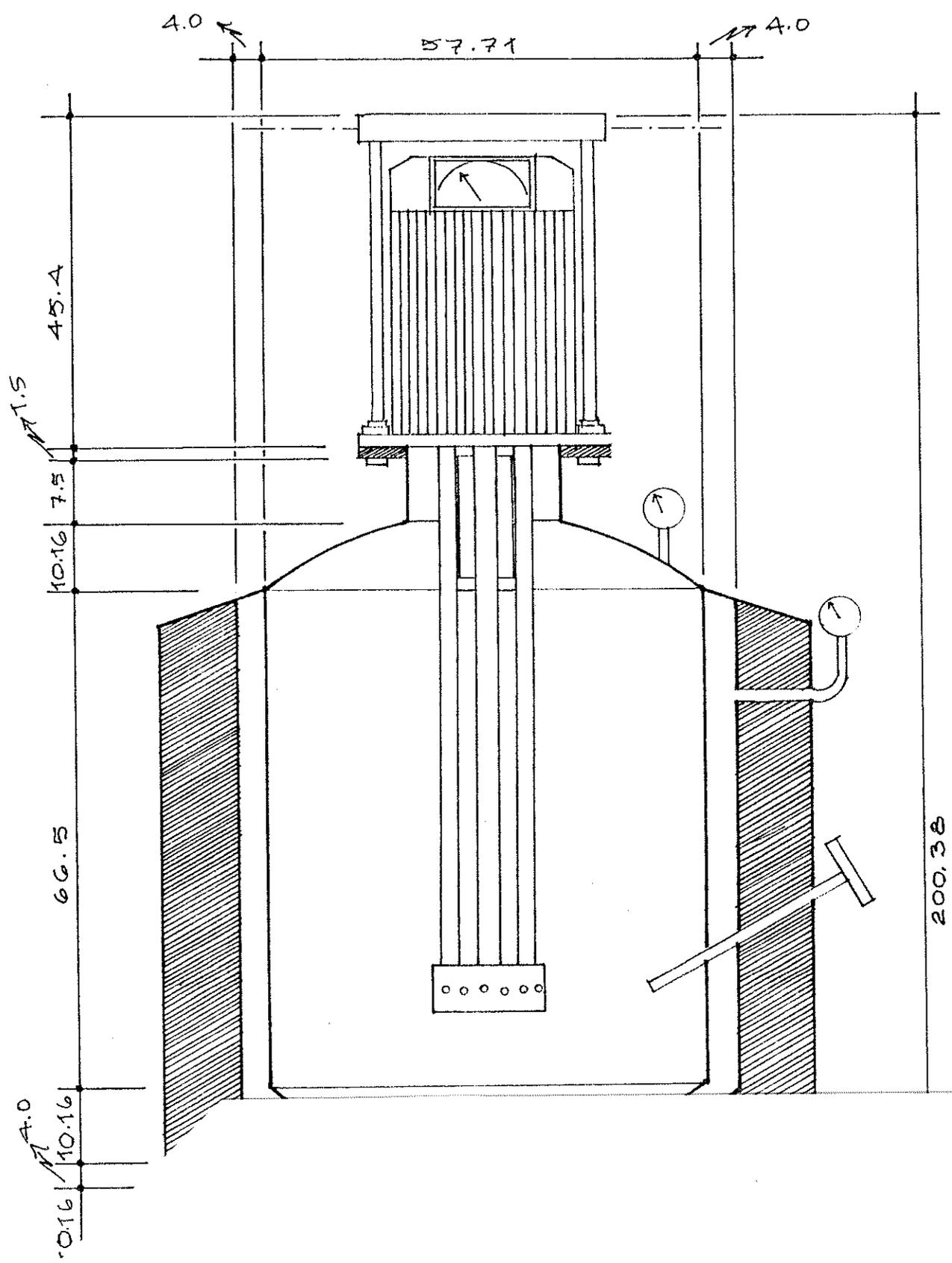
Toda la instalación debe ser prevista para condiciones de humedad, con armaduras tipo Twist Luck (acople de seguridad), para su desacople rápido y línea de conexión eléctrica desde la salida de la caja y/o del arrancador hasta el motor del tipo flexible, para que el equipo tenga libertad de movimiento. También

se debe acoplar un Timer con alarma para que automáticamente pare al terminar el tiempo del proceso y dé una señal audible de aviso. El motor debe tener un amperímetro acoplado a su circuito para observar si puede haber alguna sobrecarga que pueda dañarlo. En la protección del motor, debe instalarse un guardamotor con protecciones de fase y sobrecarga. También es conveniente instalar una alarma de aviso para cuando la temperatura o presión del tanque sobrepase las condiciones de seguridad del proceso y que pare automáticamente el funcionamiento del equipo, mientras se verifica algún problema en el sistema de enfriamiento o de presión del aire o vapor.

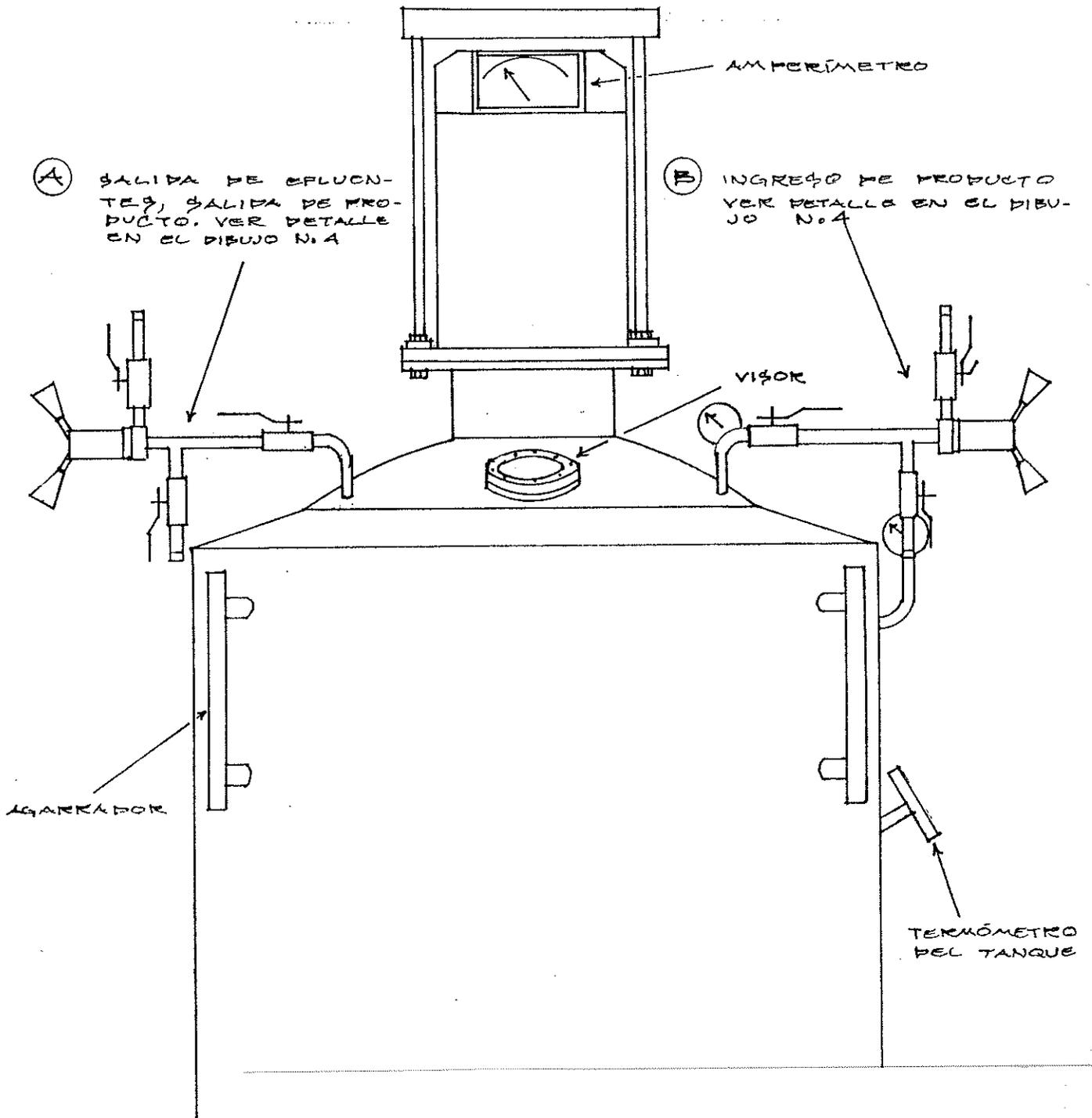
CAPITULO 5

5. DIBUJOS, DIAGRAMAS Y PLANOS

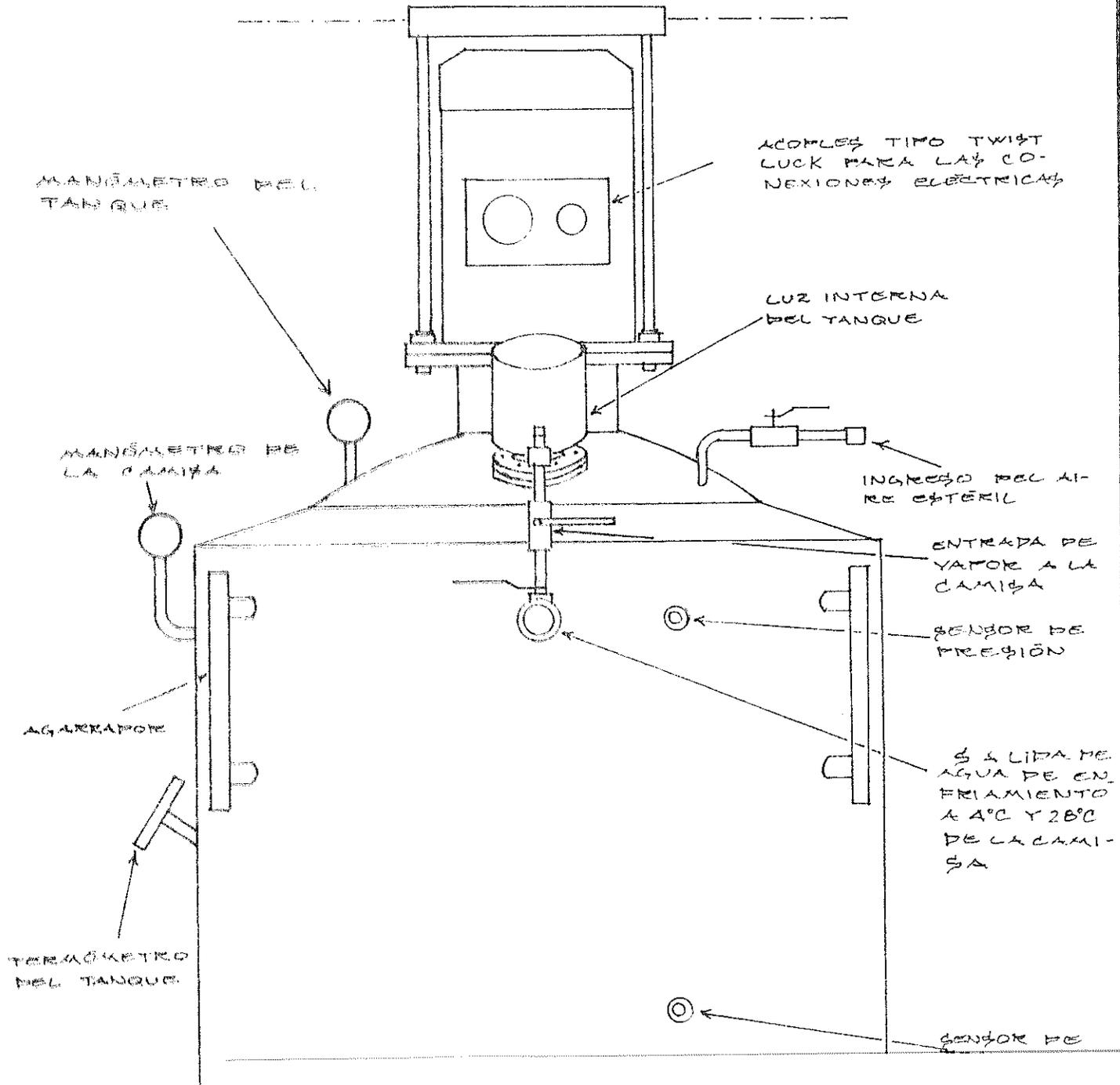
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central



VISTA FRONTAL



VISTA POSTERIOR

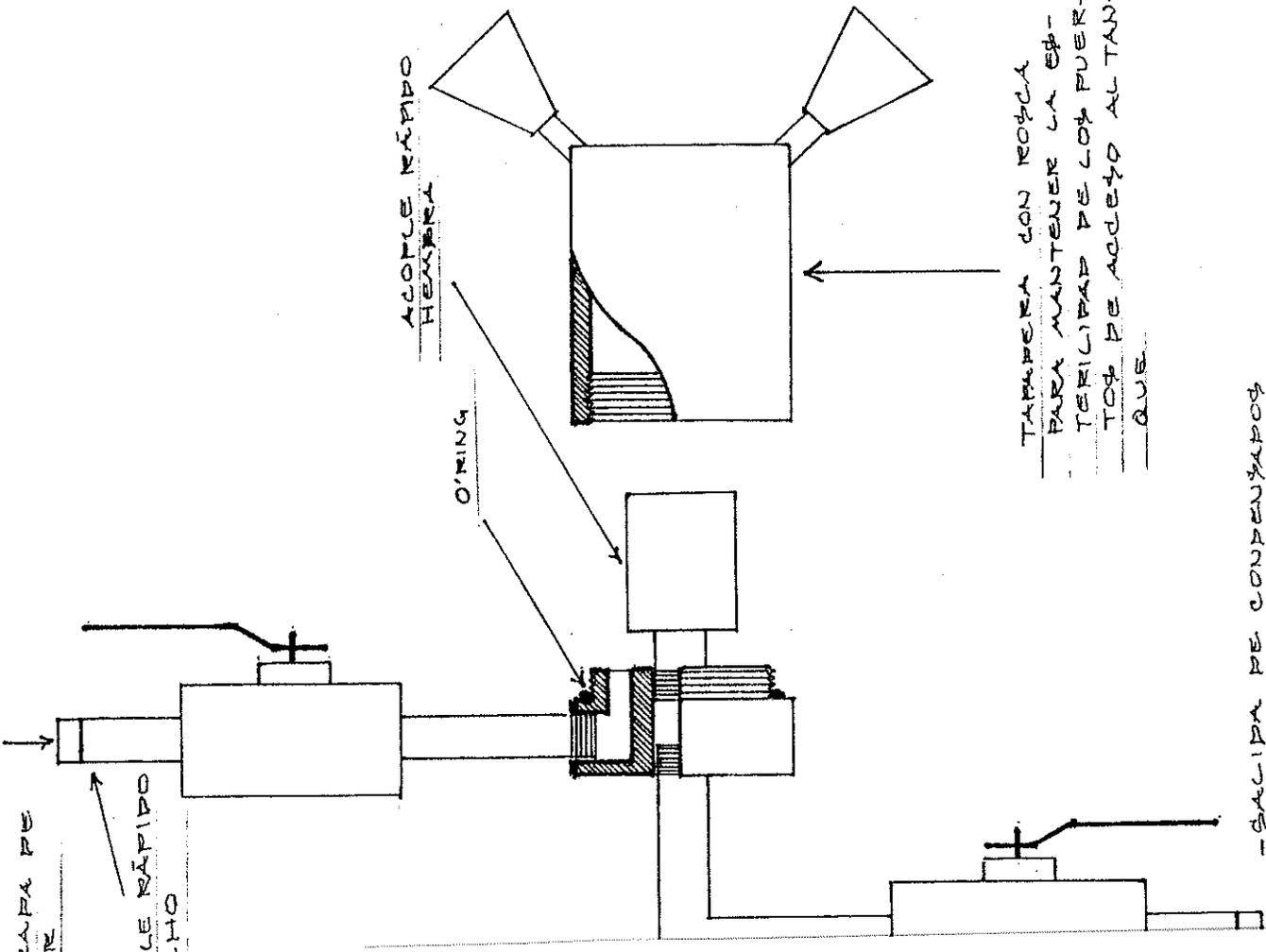


ENTRADA DE
YAPOR

ACOPLE RÁPIDO
MACHO

ACOPLE RÁPIDO
HEMERA

O'RING

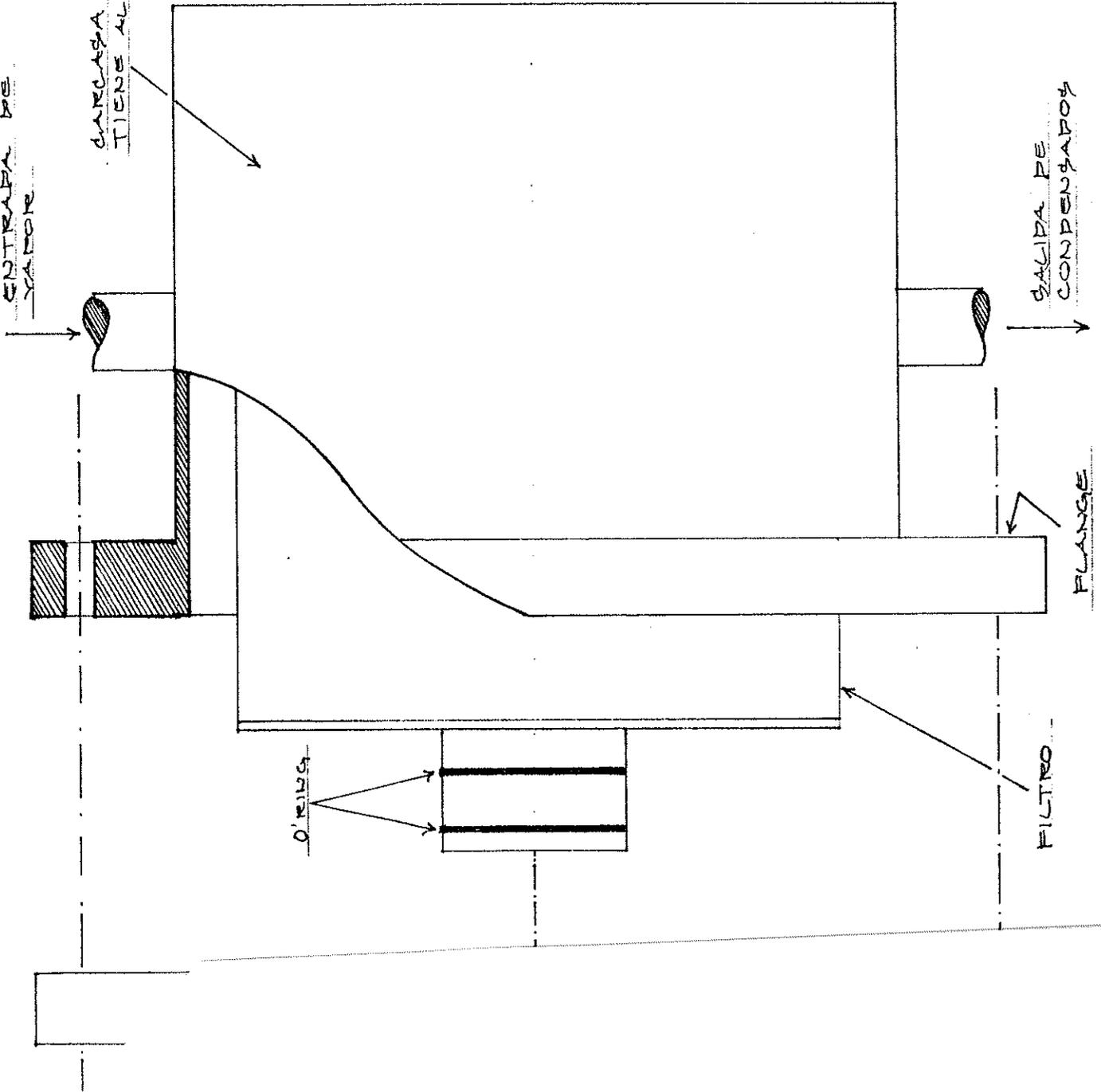


TAPERA CON ROSCA
PARA MANTENER LA PRESION
TERMINADA DE LOS PUERTOS
DE ACCESO AL TANQUE

- SALIDA DE CONDENSADOS
- PARA ESTE MUELIZO
- TOMA MUESTRAS EN LA
- SALIDA DEL TANQUE

ENTRADA DE
VAPORE

CARGASA QUE CON-
TIENE AL FILTRO

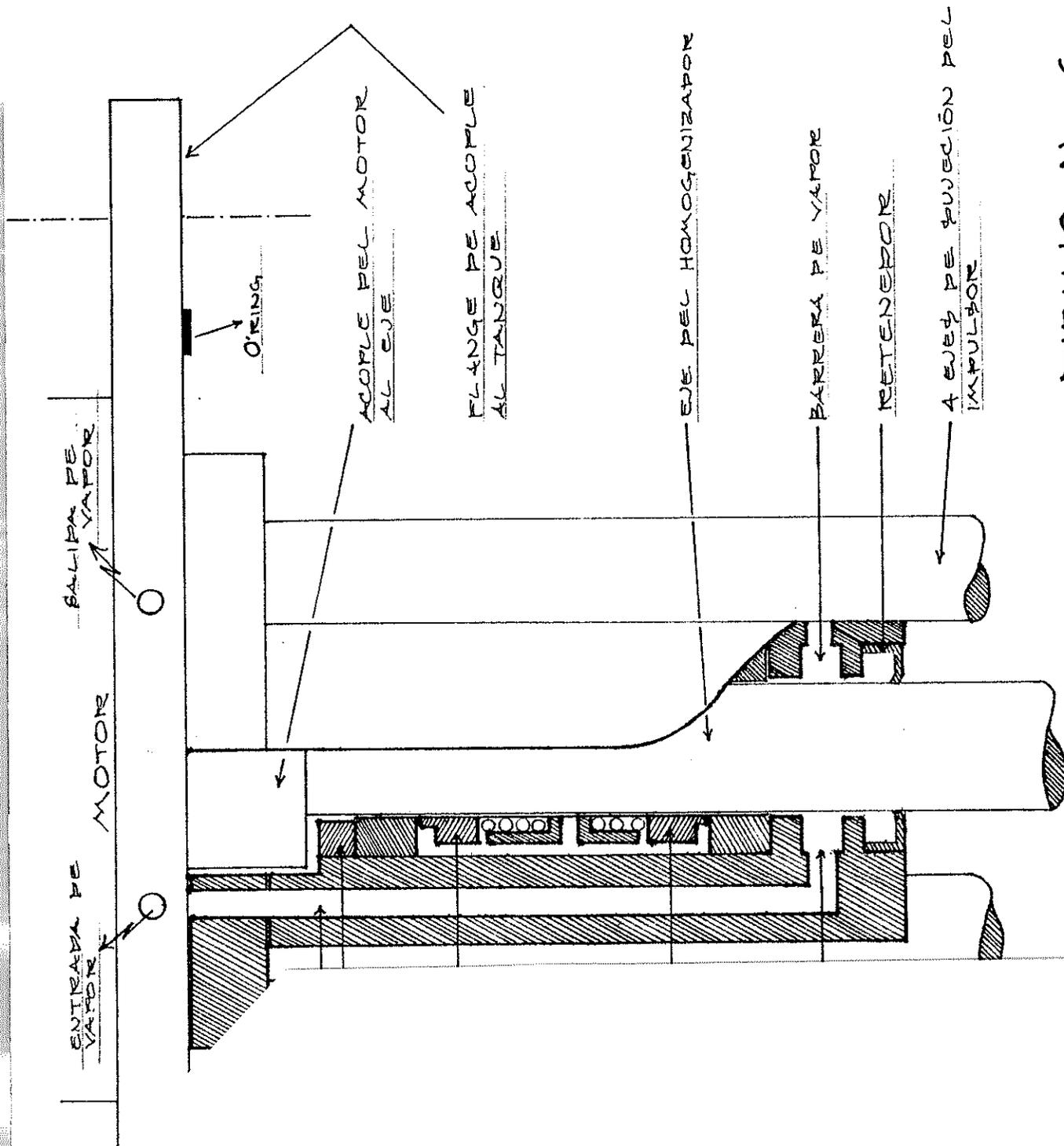


SALIDA DE
CONDENSADOS

FLANGE

O' RINGS

FILTRO



DIBUJO N.º 6
 ESCALA 1:250

CONCLUSIONES

1- El Tanque Homogenizador cumple con las condiciones geométricas de los cilindros de pared delgada, ya que la relación del espesor de la pared al radio es menor que 0.10; no hay discontinuidades en la estructura y las cargas, y las tensiones y deformaciones en su membrana cilíndrica son simétricas respecto a su eje, por lo que se consideró el análisis de cargas uniformemente distribuidas en sus paredes, debido al efecto de la presión interna, lo que hizo posible aplicar los principios de cascarones en revolución de pared delgada.

2- Los puntos críticos, debidos a la discontinuidad de la membrana en las juntas entre cilindro y tapaderas, dan lugar a expansiones diferentes, que producen esfuerzos locales de flexión y corte en la vecindad de las juntas. Se debe lograr la continuidad física entre extremos y cuerpo del depósito, para aminorar el efecto de estos esfuerzos; dichas partes deben tener las curvaturas apropiadas de los recipientes expuestos a presión interna.

3- La tensión de trabajo de diseño debe estar dentro de la zona elástica del material que se va a emplear en la fabricación del equipo, así como en el diseño de las uniones soldadas.

4- La elección de las características del acero inoxidable 304, para equipo químico en general, satisface las condiciones de diseño requeridas.

5- El equipo de enfriamiento de 1 HP queda con ventaja en holgura de trabajo, debido a que el agua de recirculación de la camisa se enfría primero en un tanque, y posteriormente se hace circular por medio de una bomba, cuando alcanza su temperatura a 4° C.

6- El espesor del aislante de fibra de vidrio de 4 pulgadas evita pérdidas de energía hasta un 58%, con el consiguiente ahorro en los gastos de operación.

R E C O M E N D A C I O N E S

- 1- Debe elaborarse un manual de uso, para evitar que la presión en la camisa sea mayor que la presión interna del tanque que puede provocar un colapso en sus paredes.
- 2- Hay que tener cuidado de no sobrepasar la presión de diseño para la protección del tanque (70 psi).
- 3- Es conveniente hacer una prueba hidrostática del tanque cada mes a 40 psi, para detectar fugas en las soldaduras, sello mecánico, empaques, válvulas y accesorios. Debe de hacerse con el equipo en funcionamiento.

B I B L I O G R A F I A

- BAUMEISTER, THEODORE. et. al. **Marks Manual del Ingeniero Mecánico.** 8a. edición en Ingles, 2a. en Español. Mexico: Edit. Mcgraw-Hill. 1994. 3 tomos.
- FLINN, RICHARD. et. al. **Materiales de Ingeniería y Sus aplicaciones.** Mexico: Edit. Mcgraw-Hill. 1980. 541 pp.
- GRIECK, Kurt. **Manual de Fórmulas técnicas.** 18ava. edición. Mexico: Representaciones y Servicios de Ingeniería. 1981.
- JENNINGS, BURGESS. et. al. **Aire Acondicionado y Refrigeración.** Décimoprimera impresión. México: Edit. CECSA. 1983. 800 pp.
- MANRIQUE, JOSE. et. al. **Termodinamica.** México: Edit. HARLA. S.A.. 1976. 339 pp.
- MILLIPORE. **Pharmaceutical Process Filtration Catalogue.** EEUU: Millipore Corporation, Bedford MA U.S.A. 92038. 1994. 208 pp.
- NASH, WILLIAM. **Resistencia de Materiales.** Colombia: Edit. Mcgraw-Hill. 1970. 299 pp.
- ORDUÑO, MODESTO. **Trabajo del Acero Inoxidable.** Segunda edición. España: Edit. CEAC S. A.. 1967. 215 pp.
- POPOV, EGOR. **Introducción a la Mecánica de Sólidos.** Segunda reimpresión. México: editorial LIMUSA. 1980. 652 pp.
- STEETER, VICTOR. et. al. **Mecanica de Fluidos.** Sexta edición. Mexico: Edit. Macgraw-Hill. 1980. 775 pp.