

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FERMENTADOR
DEL TIPO "AIR-LIFT" PARA INVESTIGACION.

T E S I S

Que para obtener el título de
INGENIERO QUIMICO
p r e s e n t a

FERNANDO GARCIA HERNANDEZ

1973

M-165565



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

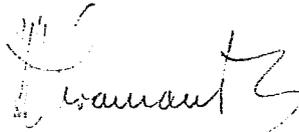
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición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

Presidente: Carlos Doorman Montero
Vocal: Luis Miramontes Cárdenas
Secretario: Javier Pérez Villaseñor
1er Suplente: Alfredo Echegaray Alemán
2º Suplente: Catalina Macías de Montes de Oca

Sitio donde se desarrolló el tema: FERFOSA



Sustentante: Fernando García Hernández



Asesor del Tema: I. Q. Luis Miramontes Cárdenas

A mi madre, en gratitud
a su amor y esfuerzos

A mis seres queridos por
el cariño y apoyo que me
han brindado siempre.

A mis maestros, compañe-
ros y amigos que han con-
tribuido a este logro, en
especial a los Ingenieros
Bernardo Servín M. y Luis
Miramontes C.

INDICE

	<u>Página</u>
CAPITULO I	
INTRODUCCION	1
CAPITULO II	
GENERALIDADES	8
CAPITULO III	
CALCULOS DEL FERMENTADOR	55
CAPITULO IV	
COSTOS	88
CAPITULO V	
RESUMEN	94
BIBLIOGRAFIA	97

CAPITULO I

INTRODUCCION

Este trabajo tiene por objeto el diseño de un fermentador de tipo "Air-Lift", con lo cual se buscan nuevas posibilidades de investigación tecnológica con un rango de seguridad apropiado que permita reproducir resultados a nivel de planta piloto y posteriormente poder llevarlos al plano industrial.

Desde la obtención de los antibióticos, el diseño especializado de fermentadores cobró un considerable interés, de hecho, así lo demuestran la infinidad de trabajos publicados sobre los aspectos involucrados, tales como; agitación, aeración, esterilización, etc...

Wang y Humphrey (25) han publicado uno de estos últimos trabajos, en el cual se refieren a la alta demanda de oxígeno, especialmente cuando ciertos microorganismos son cultivados en substratos de hidrocarburos, aunque esto ya ha sido visto en varias publicaciones, sin embargo, nuevos aparatos de aeración y agitación para incrementar la transferencia de oxígeno en mostos de fermentación no han aparecido en la literatura hasta ahora. En la mayoría de los procesos de fermentación existentes, los recipientes agitados por turbina han sido usados durante los últimos 25 años. En un intento de incrementar la eficiencia de la transferencia de oxígeno en fermentadores, un con-

cepto ligeramente diferente en el diseño de equipo (un fermentador "Air-Lift" sin agitación mecánica) ha sido ensayado en el programa del M.I.T., en la producción de proteínas a partir de ciertos microorganismos.

Un diagrama del fermentador "Air-Lift" piloto del M.I.T. puede ser visto en la fig. 1. La unidad consiste de una columna con un tubo central interno. Aire comprimido, difundido en la base, causa que el líquido se eleve en el tubo central por su parte interna y regrese por la parte externa o sea entre el tubo central y la columna. El oxígeno es transferido desde el gas al medio de cultivo tanto dentro del tubo central como en el exterior. La unidad piloto ha sido usada en varias fermentaciones de bacterias y las características de transferencia de masa han sido examinadas.

Los resultados obtenidos en el fermentador "Air-Lift" son presentados en la fig. 2. Las unidades de laboratorio y planta piloto han sido operadas en volúmenes de 6 a 200 lts. para fermentaciones de Bacillus-subtilis, usando glucosa como fuente de carbono.

Con fines comparativos, en la fig. 2, se incluyen los datos de

DIMENSIONES DEL AIRLIFT

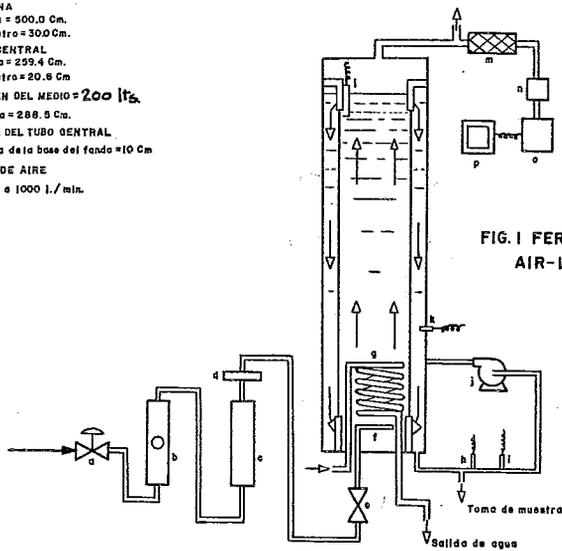
COLUMNA
 Altura = 500.0 Cm.
 Diámetro = 300.0 Cm.

TUBO CENTRAL
 Altura = 259.4 Cm.
 Diámetro = 20.8 Cm

VOLUMEN DEL MEDIO = 200 lts.
 Altura = 288.5 Cm.

ALTURA DEL TUBO CENTRAL
 Arriba de la base del fondo = 10 Cm

FLUJO DE AIRE
 = 100 a 1000 l./min.



**FIG. 1 FERMENTADOR
 AIR-LIFT**

a. Regulador de presión de Aire

b. Rotámetro

c. Filtro de aire de fibra de Vidrio

d. Filtro de aire Millipore

e. Válvula de Sello

f. Difusor de Aire

g. Serpentina de enfriamiento Enfriamiento

h. Electrodo de pH

i. Electrodo de oxígeno. Disuelto

j. Bomba centrífuga

k. Termistor

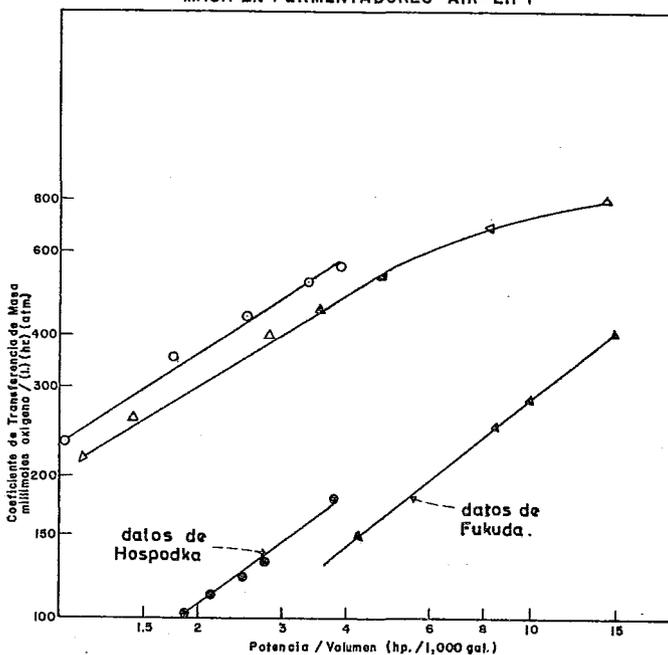
m. Filtro de silicona-gel

n. Bomba de Oxitratona

o. Analizador paramagnético de Oxígeno

p. Grafiador

Fig. 2- EFECTO DE POTENCIA POR UNIDAD DE VOLUMEN
 SOBRE EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE-
 MASA EN FERMENTADORES AIR-LIFT



△=B. subtilis en glucosa - planta piloto.

○=B. subtilis en glucosa - laboratorio.

transferencia de masa obtenidos para una fermentación de levaduras de 12,000 lts. (Hospodka) y 40,000 lts. de oxidación de sulfito de sodio (Fukuda) en fermentadores Waldof de agitación con turbina,

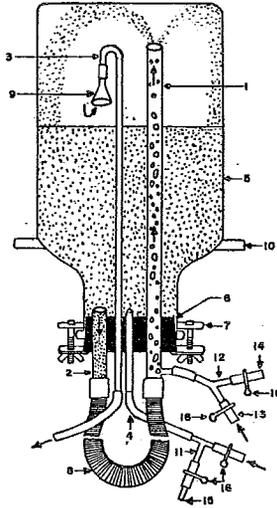
Basados en el consumo de energía, puede ser visto que el coeficiente de transferencia de masa en fermentadores "Air-Lift", parece ser completamente favorable.

En adición a los estudios de transferencia de oxígeno en microorganismos productores de proteínas, también se están examinando las áreas de recubrimiento de células y la elevación del grado de proteínas.

También es conveniente hacer notar que fermentadores "Air-Lift" han sido utilizados con fines didácticos, como en el caso del desarrollado por Lyndgren y Russell en 1956, debido a que este tipo de fermentador es barato y fácil de construir, como podemos ver en la fig. 3.

Los fermentadores "Air-Lift", como hemos visto, suprimen el agitador mecánico y la agitación se logra mediante el mismo aire que se introduce para la respiración del microorganismo, lo cual

**FIG. 3 FERMENTADOR
AIR-LIFT**



- | | |
|---|-----------------------------|
| 1-Tubo Central | 9-Embudo |
| 2-Tubo de Circulación | 10-SopORTE del Recipiente |
| 3-Salida de Aire | 11-Tubo en Y |
| 4-Entrada Secundaria de Aire | 12-Tubo en Y |
| 5-Recipiente de 2 $\frac{1}{2}$ Galones | 13-Entrada Primaria de Aire |
| 6-Tapón de Hule | 14-Boa de Inoculación |
| 7-Pinzas de Sujeción | 15-Toma de Muestra |
| 8-Manguera de Muje Flexible con Cuerpo de Alambre | 16-Pinzas de Cierre |

nos dá ciertas limitaciones, como las provocadas por medios de cultivo de alta viscosidad, fermentaciones fúngicas, pero al mismo tiempo presentan ciertas ventajas.

De hecho, en este equipo del cual nos ocupa el presente trabajo como prácticamente en cualquier fermentador de laboratorio se pueden investigar diferentes medios de cultivo, diversas cepas, diferentes presiones de operación, transferencia de masa y oxígeno y algunas variables más implícitas en las fermentaciones de cultivos sumergidos.

CAPITULO II

GENERALIDADES

- 2.1.- Descripción del Fermentador
- 2.2.- Dimensiones del Fermentador
- 2.3.- Material de Construcción
- 2.4.- Cuerpo Cilíndrico
- 2.5.- Cilindros Centrales
- 2.6.- Fondo del Fermentador
- 2.7.- Tapa del Fermentador
- 2.8.- Módulos Adicionales
- 2.9.- Difusores
- 2.10.- Equipo de Control
- 2.11.- Tanques Auxiliares

2-1.- DESCRIPCION DEL FERMENTADOR

Teniendo en cuenta que se trata de un fermentador de laboratorio, se escogió un volumen de operación de 10.0 L. por considerar que es un volumen suficiente y adecuado para los experimentos que se desean realizar.

Consiste esencialmente de un cuerpo cilíndrico, una tapa plana, un fondo toriesférico y un cilindro central, el cual sirve única y exclusivamente de separador, como se muestra en el plano (2). Esta forma de recipiente es práctica porque permite una buena agitación, es resistente a presiones bajas y moderadas y evita ángulos de contaminación, además de que es más adecuada por razones de construcción y economía.

Debido al tamaño del fermentador, no es necesario que lleve camisa para vapor o agua, pues el equipo es esterilizable en un autoclave como una unidad.

En la tapa se localizan las conexiones necesarias para servicios y control de la fermentación, así como, una entrada para inoculación situada enfrente y arriba de la tapa.

El fermentador se montará en un tablero de control, diseñado por la "Fermentation Design Inc.", modelo MAO501, desde donde se controlará la temperatura mediante un dedo de calentamiento o enfriamiento, el cual va introducido en el fermentador mediante uno de los orificios de la tapa, así como, también regulará el flujo de aire y la presión de entrada del mismo al fermentador.

Para el montaje del fermentador en el tablero de control, este llevará un cinturón soldado a la altura de la unión del cuerpo cilíndrico con el fondo toriesférico y el mismo abarcará 1 cm más que la máxima profundidad del fondo, para que pueda fácilmente sentar sobre la base del tablero de control.

No es necesaria una conexión de descarga en la parte inferior del fondo toriesférico, debido a que el fermentador se descarga quitando la tapa ya que se trata de un volumen pequeño, además de que se podrá limpiar fácilmente.

2-2.- DIMENSIONES DEL FERMENTADOR

El diámetro exterior del fermentador está fijado por la medida del diámetro interior del tablero de control de la "Fermentation

Design", en el cual se montará para llevar a cabo los diversos trabajos de investigación. El diámetro interior lo podemos obtener teniendo en cuenta el espesor del cuerpo cilíndrico el cual a su vez se obtiene de acuerdo a las condiciones de operación, presión, material de construcción, etc., como veremos más adelante, o sea el diámetro interno será:

$$D_i = D_e - 2t$$

D_i = Diámetro Interno cm. (pg)

Donde:

D_e = Diámetro Externo cm. (pg)

t = Espesor del Cuerpo Cilíndrico cm (pg)

El volumen de operación se estimó en 10 lts. y el espacio libre recomendado por la literatura para fines de esterilización, aeración, etc., fluctúa entre 20 - 25%, nosotros tomaremos el 25% y considerando además el volumen que desplazará el cilindro central, la Ude calentamiento o enfriamiento, tendremos un volumen total aproximado de 14 lts.

Con este volumen total restándole el volumen que ocupa el fondo toriesférico, tenemos el volumen total del cuerpo cilíndrico y de ahí podemos despejar la altura del mismo, o sea:

$$V = (\pi/4) D^2 H = 0.785 D^2 H$$

$$H = 4V/\pi D^2 = V/0.785 D^2$$

y con ésta altura y la del fondo toriesférico, tenemos la altura total interna del fermentador.

$$H_T = H_C + H_f$$

Donde:

H_C = Altura del cuerpo cilíndrico cm (pg)

H_f = Altura del fondo toriesférico cm (pg)

La altura del líquido dentro del fermentador la podemos obtener mediante el mismo procedimiento que utilizamos para la altura del cuerpo cilíndrico, solo que en lugar de usar el volumen total, usaremos el volumen de trabajo.

Con el volumen del fondo toriesférico, su espesor, la profundidad del mismo y la altura de los cilindros centrales (los cuales se obtienen como más adelante se verá) queda dimensionado el fermentador en cuanto a diámetro, altura y forma del recipiente, por lo que se procede a determinar los espesores correspondientes en función del material de construcción y la presión de diseño.

2.3.- MATERIAL DE CONSTRUCCION

Hay algunos factores que influyen en la aparición y velocidad de la corrosión, los más importantes son: la temperatura, velocidad de reacción, pH, condiciones óxido-reductoras y humedad. Estos factores son característicos de las fermentaciones, por lo tanto, teniendo en cuenta que se trata de un equipo de investigación y que será usado para una amplia gama de fermentaciones, las cuales en mayor o menor grado producen metabolitos corrosivos, la elección del material se hizo en función de su máxima resistencia al ataque químico; siendo ésta una de las características más importantes de los aceros inoxidables, se buscó dentro de éste grupo el material más recomendable, encontrándose que el acero inoxidable 316, clave As 182, designación X5CrNiMo 1810, llenaba los requisitos deseados, siendo éste el comúnmente usado en la construcción de fermentadores para investigación, planta piloto y producción industrial.

TABLA 1 COMPOSICION DEL ACERO INOXIDABLE

<u>ELEMENTO</u>	<u>COMPOSICION EN %</u>
C	0.70
Cr	18.00
Mo	2.30
Ni	11.50

T A B L A 2 PROPIEDADES FISICAS DEL ACERO INOXIDABLE

Límite elástico mínimo	120 Kg/mm ²
Carga de Rotura	50-70 Kg/mm ²
Módulo de elasticidad aprox.	20,300 Kg/mm ²
Densidad	7.80 g/cm ³
Conductibilidad Térmica	0.035 Cal/cm ^{So} C
Calor específico a 20°C	0.035 Cal/g°C

Manual de Aceros Fortuna, S. A.

ACEROS INOXIDABLES

Hay más de 70 tipos estandar de acero inoxidable, así como, muchas aleaciones especiales.

Estos aceros son producidos, en la forma de acero forjado (tipos - A.I.S.I.) y aleaciones fundidas (tipo A.C.I.). Generalmente, todas-- son en base de hierro, con 12 a 30% de cromo, 0 a 22% de níquel y menores cantidades de carbono, columbio, cobre, molibdeno, selenio, tántalo y titanio. Estas aleaciones son muy populares en los procesos in-- dustriales. Ellas son resistentes al calor, a la corrosión, a la contami-- nación y son fácilmente fabricadas en formas complejas.

Hay tres grupos de aleaciones inoxidables, que son las siguientes:

- 1) Martensíticos 2) Ferríticos 3) Austeníticos

1) Martensíticos

Estas aleaciones contienen de 12 a 20% de cromo con cantidades controladas de carbono y otros aditivos. El tipo 410 es miembro típico de este grupo. Estas aleaciones pueden ser endurecidas por tratamiento térmico (templables) lo cual aumenta su esfuerzo a la tensión de 5,610 Kg/cm² (80,000 Lb/pg²) a 14,000 Kg/cm² (200,000 Lb/pg²).

La resistencia a la corrosión es inferior que la de los aceros inoxidables austeníticos y los aceros martensíticos son generalmente usados en medios suavemente corrosivos (atmosféricos, aguas nuevas, exposiciones orgánicas).

2) Ferríticos

Contienen de 15 a 30% de cromo, con un bajo contenido de carbono (0.1%). El alto contenido de cromo aumenta su resistencia a la corrosión. El tipo 430 es un típico ejemplo. El esfuerzo puede

ser incrementado por trabajo en frío pero no por tratamiento térmico. Son suaves dúctiles, los grados ferríticos pueden ser fabricados por todos los métodos estandar. Son fácilmente maquinables con equipos de alta velocidad. No presentan problemas para la soldadura.

La resistencia a la corrosión es generalmente buena, aunque las aleaciones férricas no presentan buena resistencia cuando se trata de ácidos reductores como el HCl. Pero soluciones suavemente corrosivas y medio oxidantes pueden ser manejadas sin peligro. El tipo 430 es ampliamente usado en plantas de ácido nítrico, además es muy resistente a las incrustaciones y a la oxidación por altas temperaturas hasta de 820°C (1500°F).

3) Austeníticos

De los tres grupos, estos son los más resistentes a la corrosión éstos aceros tienen un contenido de 16 a 26% de cromo, de 6 a 22% de níquel. El contenido de carbono es bajo (0.08%) para minimizar la precipitación como carburo. Estas aleaciones pueden ser endurecidas por el trabajo, pero el tratamiento térmico no causa ningún endurecimiento. El esfuerzo a la tensión en las condiciones de templado es cerca de 5,950 Kg/cm² (85,000 Lb/pg²) pero el trabajo

de endurecimiento puede aumentarse hasta 21,100 Kg/cm² (300,000 Lb/pg²).

Los inoxidables austeníticos son flexibles y dúctiles. Estos aceros inoxidables pueden ser fabricados por todos los métodos estándar. Pero los grados austeníticos no son fácilmente maquinables, para ello son necesarias máquinas rígidas, cortadoras pesadas y máquinas de alta velocidad. Las soldaduras sin embargo, son fácilmente llevadas a cabo, aunque a la hora de soldar puede causar precipitación de carburo de cromo, lo cual disminuye a la aleación algo de cromo y baja su resistencia a la corrosión. Para servicios suavemente corrosivos, esto no causa dificultad, pero para servicios severamente corrosivos, los carburos deben regenerarse en solución por tratamiento térmico. Para evitar la precipitación, aceros inoxidables, especialmente estabilizados con titanio, columbio o tántalo, han sido desarrollados (tipos 321, 347 y 348), otra solución al problema es el uso de aceros de bajo contenido de carbono tales como los tipos 304 L y 316 L con 0.03% máximo de carbono.

El tipo 302 es la aleación básica de éste grupo. Los tipos 304 y 304 L son versiones de bajo contenido de carbón del 302. Tipos - 316

316 L y 317 con 2.5 a 3.5% de Molibdeno son los más resistentes a la corrosión. En el grupo de inoxidable el níquel aumenta (grandemente) la resistencia a la corrosión formando una película exactamente encima del cromo inoxidable, así, los aceros con cromo, níquel, particularmente las aleaciones 18-8, se comportan mejor bajo condiciones oxidantes, debido a que la resistencia depende de una película de óxido que se forma en la superficie de la aleación. Condiciones reductoras e iones cloro destruyen esta película dando origen a un rápido ataque químico. Iones cloro, combinados con un alto esfuerzo de tensión, dará por resultado un rompimiento esfuerzo-corrosión.

Los aceros inoxidable tienen una excelente resistencia al ácido nítrico, prácticamente a todas las concentraciones y temperaturas, muchas de las plantas de ácido nítrico están construidas con el tipo 304. Para manejar el ácido sulfúrico sin inhibidores, el acero inoxidable tipo 316, puede ser usado solamente en soluciones abajo del 5% y arriba del 85% a temperaturas abajo del punto de ebullición.

Las aleaciones inoxidable fundidas son también ampliamente usadas en la fabricación de bombas, válvulas y conexiones; por

eso como vimos con anterioridad, debido a las diversas fermentaciones que se puedan tener, el más apropiado de los materiales para la construcción del equipo, es el acero inoxidable (tipo 316) el cual es muy resistente al ataque químico, así como, uno de los más usados y que se encuentra disponible fácilmente en México, con sus respectivos variantes.

2.4.- CUERPO CILINDRICO

Una vez determinadas las dimensiones del fermentador, así como el material de construcción, se procede a determinar el espesor del cuerpo cilíndrico, tomando lo anterior en consideración, así como la presión máxima de trabajo, la temperatura máxima a la cual va a estar sometido el recipiente, en este caso desconocemos el radio interno por lo cual usaremos la siguiente fórmula; en función del radio externo que es conocido:

$$t = \frac{P r_o}{S E + 0.4 P}$$

t = Espesor de la pared del
cuerpo cilíndrico cm.
(pg).

Donde :

P = Presión de diseño o
máxima presión de o-
peración Kg/cm² --
(Lb/pg²).

E = Factor de unión, de-
pendiendo del tipo de
soldadura.

S = Carga de diseño Kg/cm²
(Lb/pg²).

r = Radio externo del ci-
lindro cm. (pg).

Dádonos así el espesor mínimo requerido para la construcción--
del recipiente, claro que aquí entra el criterio del factor de corro---
ción dependiendo del tiempo que se desee que dure el equipo, la ma-
leabilidad del acero, choque térmicos, la lámina comercial que se en-
cuentre en el mercado, que el equipo tenga cierta rigidez y así poder
aumentar ese espesor para obtener la seguridad de un equipo adecuado.

Este espesor es función de la presión interna o sea la presión de operación máxima a la cual se puede trabajar dicho equipo. El espesor requerido por la presión externa es mínima debido a que cuando esté en operación, la presión externa es la atmosférica y en ese caso siempre la presión interna será mayor a la presión externa; en el caso de esterilización del equipo en autoclave, se deja un poco flojo el tapón del niple de inoculación, por lo cual la presión externa y la interna se mantienen en equilibrio, así mismo, no existe ningún esfuerzo considerable en las paredes interna y externa del recipiente; por lo que nuestro diseño queda exclusivamente definido por la presión interna.

2.5.- CILINDROS CENTRALES

Vamos a escoger tres tamaños de cilindros, los cuales son intercambiables, para así poder obtener una mayor gama de pruebas, estos cilindros solo sirven como separadores exclusivamente, pues, el esfuerzo que reciben es debido a la presión interna tanto en la pared exterior como en la interior de los cilindros, o sea que está en equilibrio, por lo que se requiere un espesor mínimo, se escogió lámina de 1/8" (0.3175 cm) que es una lámina comercial y tiene

cierta rigidez.

La altura de estos cilindros centrales será la misma que ocupe el nivel del líquido en porción cilíndrica del recipiente disminuida en 2 cm o sea que el cilindro central queda inundado en el medio de cultivo. La altura es la misma para los tres cilindros centrales, lo que cambia es el diámetro. Estos cilindros serán 3/4, 1/2 y 1/4 del área total del cuerpo cilíndrico del fermentador, por lo tanto, necesitamos saber dicha área y esa la podemos calcular de la siguiente forma:

$$A = \frac{\pi}{4} \sum D_i^2$$

Donde:

A = Área del cuerpo cilíndrico
cm² (pg²).

D_i = Diámetro interno del cuerpo
cilíndrico. cm (pg).

y aplicando esta área para los cilindros centrales, tenemos:

$$A_a = 3/4 A$$

$$A_b = 1/2 A$$

$$A_c = 1/4 A$$

$A a =$ Area del cilindro central,
3/4 del área del cuerpo
cilíndrico.

Donde :

$A b =$ Area del cilindro central,
1/2 del área del cuerpo
cilíndrico.

$A c =$ Area del cilindro central
1/4 del área del cuerpo
cilíndrico.

y con éstas áreas de cada cilindro podemos obtener los diámetros in-
ternos de cada uno y así quedan dimensionados los cilindros centra-
les, para obtener los diámetros, tenemos:

$$D a = \sqrt{\frac{A a}{\pi/4}}$$

$$D b = \sqrt{\frac{A b}{\pi/4}}$$

$$D c = \sqrt{\frac{A c}{\pi/4}}$$

y con éstos diámetros podemos obtener el volúmen que cada uno despla-

za, aunque lógicamente el que mayor volumen desplace será el de 3/4 del área del cuerpo cilíndrico, o sea:

$$V = \pi \cdot D \cdot H \cdot t$$

y con éste dato podemos comprobar el volumen total real del fermentador.

Para fijar éstos cilindros centrales al fermentador, dispondremos de 3 soleras en Z, dispuestas en la tapa del fermentador por la parte interna a 120° cada una de la otra y el cilindro central tendrá 3 soleras en Γ también a 120° y las cuales ensamblarán con las soleras en Z y se fijarán una a otra mediante tornillos, o sea  lo cual nos sujetará los cilindros centrales, que es nuestro objetivo. Estas soleras serán de 0.3175 cms. (1/8") de espesor, 1.27 cms. (1/2") de ancho y el largo dependerá de la altura de los cilindros.

2.6.- FONDO DEL FERMENTADOR

El fondo del fermentador es una cabeza toriesférica, la cual está constituida de tres secciones que son: a) Un borde cilíndrico o sección cilíndrica, b) Un fondo de plato que es una porción de

esfera o sección de la esfera, c) La unión de las anteriores porciones que es una sección curva o sección del toro.

Como podemos ver, se tienen dos radios; el radio de la esfera o radio mayor y el radio de la curvatura de la esquina interna o radio menor.

El grado de presión en cabezas toriesféricas, puede ser incrementado por disminución del esfuerzo local que ocurre en la esquina interna de la cabeza. Esto puede ser logrado por formación de la cabeza de tal forma que el radio menor mínimo, sea por lo menos 3 veces el espesor del metal. Por reglas de construcción del código ASME, el radio no deberá ser menor que un 6% del diámetro interno, aunque también el radio de la esfera puede ser igual o menor que el diámetro de la cabeza. Estas cabezas son fabricadas en la base de usar el diámetro externo como diámetro nominal.

Cabezas de este tipo son usadas para recipientes a presión, en un rango de 1.05 Kg/cm^2 (15 lb/pg^2) a 14.05 Kg/cm^2 (200 lb/pg^2).

Las dimensiones de los fondos toriesféricos óptimos, tienen las siguientes relaciones:

Una profundidad (h) de 0.5 R

Un radio menor (r) de 0.345 R

Un radio mayor (L) de 1.81 R

La discontinuidad en el radio de curvatura, en la unión de la chamela con el fondo esférico es de 1.47 R. En donde R. es el radio interno del tanque. Estos datos fueron obtenidos según Referencia (15).

El volumen del fondo se obtiene sumando los volúmenes parciales de las tres secciones que lo componen y éstos volúmenes de cada sección se obtienen de la siguiente manera:

Volumen de la sección del Toro:

$$V_t = \pi^2 (D-2r) r^2 / 4$$

Volumen de la sección cilíndrica:

$$V_c = 0.785 (D-2r)^2 \cdot r$$

Volumen del Segmento de la esfera:

Este volumen se obtiene ya tabulado (20), conociendo un seg-

mento de esfera $(h-r)$ y el diámetro de la esfera $(2L)$, la relación de la altura del segmento de la esfera al diámetro de la misma nos dá-- un valor, con ese valor encontramos el valor de V/D^3 y de ahí des-- pejamos V pues el diámetro es conocido, o sea:

$(h-r) = h_e$ altura del segmento de la esfera
 $2L = D_e$ Diámetro de la esfera
 $h_e/D_e =$ Valor de la relación altura-diámetro

Valor relación $h_e/D_e \longrightarrow$ valor de V/D_e^3

$$V_e = D_e^3 \times \text{valor de } V/D_e^3$$

y así tenemos nuestro volumen total:

$$V_{Te} = V_f + V_c + V_e$$

Espesor del Fondo Toriesférico:

El espesor del fondo toriesférico se calcula con la siguiente-- fórmula:

$$t = \frac{P L M}{2 S E - 0.2 P}$$

P = Presión de diseño. Kg/cm²

(Lb/pg²)

S = Carga de diseño. Kg/cm²

(Lb/pg²).

E = Factor de unión

L = Radio de la sección esférica

el cual como máximo puede

ser igual a D (diámetro de la

cabeza). cm. (pg).

Donde :

M = Constante evaluada de la si-

guiente manera:

$$M = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{L}{r}} \right)$$

r = Radio menor y el cual debe ser

mayor de 3t y 0.06 (D + 2t).

cm. (pg.)

Por especificaciones el espesor del fondo nunca puede ser menor del espesor del cuerpo cilíndrico.

2.7.- TAPA DEL FERMENTADOR

La tapa del fermentador consistirá de una brida ciega comercial estandar, la cual se sujetará a la superficie anular superior del recipiente aumentada en 38.1 mm. (1 1/2 pg.) con el objeto de tener una mayor área de asentamiento del empaque, así como, dar cabida a los orificios donde irán los pernos de sujeción, ésto se logra soldando un anillo del mismo material, estriando además la superficie para lograr una mayor hermeticidad.

Tanto la brida como el anillo soldado llevarán una ranura para alojar una junta de Neopreno, la cual dará el sello necesario para evitar cualquier fuga; se escogió el neopreno "Y", debido a que es un material flexible que rellenará cualquier hueco posible que pudiera quedar, así como que es resistente a temperaturas altas, como la de esterilización 121° C (250°F).

Las conexiones de carga que llevará la tapa son:

1 de aire en 1/8" NPT y Rosca 1/4" NPT

1 de ácido en 1/8" NPT con tubo 1/4" para gas
(flexible)

- 1 de álcali en 1/8" NPT con tubo de 1/4" para gas (flexible)
- 1 de antiespumante en 1/8" NPT con tubo de 1/4" para gas (flexible)
- 2 de nutrientes en 1/8" NPT con tubo 1/4" para gas (flexible)
- 1 niple de inoculación en 3/4" cuerda recta
- 1 tubo niple corto 1/8" NPT

además llevará perforaciones para los electrodos de control de fermentación.

- 1 Termopozo 1/8" NPT tubo cerrado largo
- 1. Termopozo 1/8" NPT con tubo de 1/4" para gas (flexible)
- 1. de pH en 3/4" NPT
- 1 de eH en 3/4" NPT
- 2 de O.D. en 3/8" NPT
- 1 dedo de calentamiento o enfriamiento 1/8" NPT

así como 2 mirillas 2" para poder ver la actividad de la fermentación, la producción de espuma y el nivel constante de ésta y del medio.

Conexiones de descarga tan solo habrá la de gases en 1/8" NPT; en ésta línea irán conectados mediante una cruz, el manómetro indicador de la presión dentro del recipiente, una válvula de seguridad y el filtro de descarga de gases, así como un tubo largo en 1/8" NPT para toma de muestra. Plano (2).

Para el diseño de la brida hay que tener en cuenta dos aspectos importantes:

- a) La elección del material adecuado para la junta.
- b) El diseño correcto de la junta.

Sin otra intención más que hacer resaltar la importancia que tiene una buena elección de material de empaque y dadas las características de operación para lo que se tiene proyectado el fermentador, abordaremos brevemente los aspectos más importantes.

a) Todo material para juntas disponible en la industria, tiene ciertas limitaciones inherentes que tienden a restringir el campo de aplicación a cada material. No obstante los factores mecánicos son importantes en el diseño de toda junta y el primer paso pa-

ra la selección de la junta, se encuentra fuertemente influenciado-- por dos factores:

- 1) La naturaleza del fluido o gas que se maneja.
- 2) La temperatura, fuera de pocas excepciones. Un mate-- rial nunca debe ser usado a temperaturas más altas que-- las recomendadas por el fabricante.

1) Naturaleza del Fluido

Usando la literatura apropiada de resistencias, la cual pue-- de ser proporcionada por el fabricante, se puede estudiar fácilmen-- te las reacciones del material para las condiciones específicas de-- operación. Los aspectos que han de tomarse en cuenta para hacer una buena elección, son los siguientes:

La concentración del agente corrosivo

La pureza del agente corrosivo

La temperatura del agente corrosivo

Esta última tiene un doble efecto, pues afectará las caracte-- rísticas físicas del material y causará un aumento en la velocidad-- del ataque corrosivo. La colocación de la junta puede a menudo--

influir sobre su resistencia al ataque químico, por lo que pueden recibir un ataque corrosivo mayor las partes que estén sumergidas dentro del medio que se maneje.

La construcción del material de la junta afecta decididamente su resistencia a los productos químicos. Esto se puede considerar como un factor de economía, ya que los materiales que se encogen o resecan rápidamente, traen como consecuencia que la junta falle pronto.

Otros factores que influyen en la selección del material, son las presiones intensas a que se someten, el ciclo de operación y las vibraciones.

b) Diseño De La Junta

Para obtener un sellado efectivo y fuerte, el material de la junta debe ser lo suficiente compresible para poder deslizarse por las imperfecciones del material rellenando todo hueco entre las bridas debido al escurrimiento normal.

La cantidad necesaria de material de junta de empaque que debe deslizarse para obtener un sello hermético depende de la rugosidad de la superficie.

La cantidad de fuerza que debe ser aplicada a la junta de empaque para que ésta deslice y selle las irregularidades de la superficie, es conocida como la carga unitaria de asentamiento de la superficie de contacto del empaque "y".

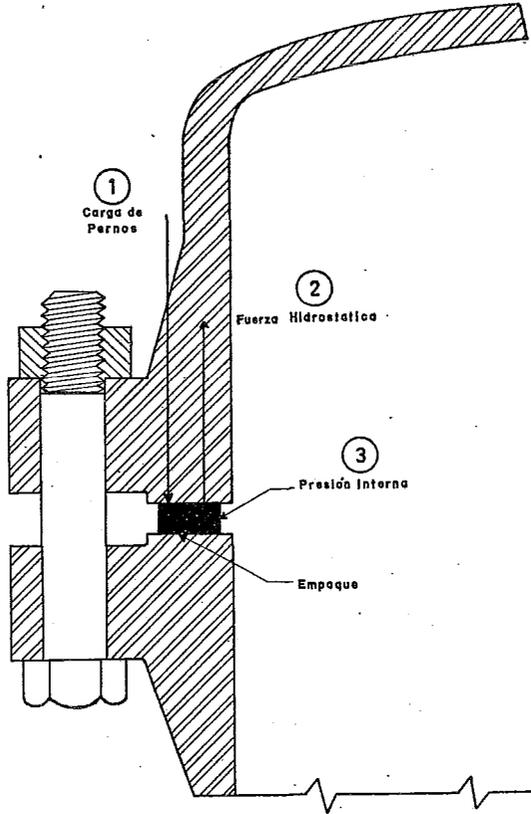
Esta fuerza es usualmente expresada en unidades de presión Kg/cm^2 (lb/pg^2) y es independiente de la presión interna del recipiente, ésta presión de asentamiento representa la carga mínima que debe ser aplicada para que selle la junta perfectamente, aunque bajas presiones sean usadas en el recipiente. El sello hermético de la junta se obtiene mediante la carga de pernos sobre la brida antes de que cualquier presión interna sea aplicada en el recipiente.

Tres son las fuerzas principales que actúan sobre la junta.

Figura (4).

1. La carga de pernos que tiende a mantener unida la brida y hace que la junta se deslice para obtener un sello hermético.
2. La fuerza hidrostática del extremo que tiende a separar la brida cuando existe una presión interna.

Fig. 4 LAS TRES FUERZAS MAYORES
ACTUANDO SOBRE UN EMPAQUE



sión interna.

3. La presión interna, la cual tiende a desplazar a la junta de su posición.

Las fugas bajo presión ocurrirán si la fuerza hidrostática del extremo es lo suficientemente grande, la diferencia entre ella y la carga de pernos disminuye la presión sobre la junta de empaque, a bajo de un valor crítico.

La relación entre la presión del empaque (cuando el recipiente está sujeto a presión) y la presión interna se denomina como "factor de empaque" m .

El factor de empaque es una propiedad inherente al material y construcción del mismo y es independiente de la presión interna a través de un extenso margen de presiones.

En la selección del empaque apropiado para que exista un buen sello, uno de los primeros pasos que se deben seguir es determinar la cantidad total de fuerza que es necesaria para hacer que el empaque ceda y mantenga un sello hermético bajo condiciones de operación.

La decisión de cual material de empaque debe ser seleccionado, es a menudo dado por las dimensiones del empaque. Si el empaque es muy angosto, la presión sobre él puede ser excesiva. Si el empaque es muy ancho, la carga de pernos será incrementada incesariamente.

Un estudio preliminar de las dimensiones del empaque se deriva de lo siguiente:

$$\text{Fuerza del Asentamiento del empaque} = \text{Fuerza de la Presión Hidrostática} = \text{Fuerza Residual de Emp.}$$

La fuerza residual de empaque no puede ser menor que la requerida para evitar fugas bajo la presión de operación. Por lo tanto:

$$\frac{\pi}{4} (d_o^2 - d_i^2) y = \frac{\pi}{4} d_o^2 p = \frac{\pi}{4} (d_o^2 - d_i^2) p_m.$$

Donde:

y = Carga unitaria de asentamiento, Kg/cm² (lb/pg²)

p = Presión interna, Kg/cm² (lb/pg²)

d_o = Diámetro exterior del empaque, cm (pg)

d_i = Diámetro interior del empaque, cm (pg)

m = Factor de empaque

ésta ecuación puede ser arreglada de la siguiente manera:

$$\frac{d_o}{d_i} = \sqrt{\frac{y - pm}{y - p(m+1)}}$$

y con ésta ecuación podemos calcular los diámetros interno y externo y a su vez calcular la anchura mínima del empaque.

$$A.M.E. = \frac{d_o - d_i}{2}$$

Para el diseño de la junta de empaque es necesario determinar la fuerza total disponible, primero para que la junta ceda y segundo para mantener un sellado perfecto en condiciones normales de servicio, ésta fuerza depende del número y tamaño de los tornillos de la brida y en la fuerza máxima aplicable a las tuercas. Esto se puede obtener por cálculos basados en el tipo de material de empaque o por condiciones de diseño y características del material de que están hechos los pernos.

Comparando éstos resultados con una selección previa de ma-

teriales basada en tablas de recomendaciones y en las condiciones----
de uso puede elegirse la junta y la fuerza a que cede .

REGLAS PARA EL DISEÑO DE BRIDAS

Carga de Pernos.- Dos cargas de pernos existen: La desarro--
llada por la presión inicial de los pernos "Wm₂" y la que existe ba--
jo las condiciones de operación "Wm₁". La carga de pernos debida--
a la presión inicial debe suministrar una cantidad suficiente de fuer--
za, H_y, sobre la junta para que esta asiente y se obtenga un sello her--
mético, ésta carga es igual al área efectiva del empaque por la pre--
sión unitaria de asentamiento, o sea:

$$Wm_2 = H_y = \pi b G y$$

La carga de pernos bajo condiciones de operación consiste de:

- a) La fuerza necesaria para resistir la presión in--
terna, y
- b) Guardar la presión de la junta durante la ope--
ración.

La presión interna produce una fuerza en los extremos, H, da--

da por:

$$H = \frac{\pi}{4} G^2 p$$

La fuerza requerida para guardar la junta en su posición que no fugue, H_p , está dada por:

$$H_p = 2b \pi G m p$$

entonces

$$W_{m1} = H + H_p$$

W_{m1} = Carga de pernos necesaria para condiciones máximas de operación.
Kg (lb).

W_{m2} = Carga inicial de pernos en condiciones atmosféricas, sin presión interna.
Kg (lb).

Donde:

H = Fuerza hidrostática ejercida por la presión interna sobre el área comprendida por

el diámetro de empaque.

Kg (lb).

G = Diámetro del empaque donde se localiza la reacción de la carga. cm (pg).

P = Presión máxima de operación. Kg/cm² (lb/pg²).

b = Ancho de la superficie efectiva del empaque. cm. (pg).

y = Carga unitaria de asentamiento de la superficie del contacto de empaque. Kg/cm² (lb/pg²)

m = Factor de empaque.

AREA DE PERNOS:

Si la temperatura de operación es lo suficientemente alta que reduce el esfuerzo permisible de los pernos en comparación con el esfuerzo permisible de los pernos a temperatura ambiente, diferentes áreas de pernos serán necesarias para estas condiciones.

Para las condiciones de operación (con presión interna) el área mínima de pernos, está dada por:

$$Am_1 = \frac{Wm_1}{S_b}$$

y para condiciones atmosféricas, sin presión interna estará dada por:

$$Am_2 = \frac{Wm_2}{S_a}$$

Donde :

S_b = Carga máxima, permisible de los pernos, a la temperatura de operación Kg/cm^2 (lb/pg^2).

S_a = Carga máxima, permisible de los pernos, a la temperatura atmosférica Kg/cm^2 (lb/pg^2).

El área real de pernos (A_b) sobrepasa al área mínima de pernos debido a que un múltiplo de 4 es usado, pues resulta necesario que la distancia entre los pernos no sea muy grande para que exista una presión uniforme sobre el empaque. El exceso del área de pernos puede causar una sobrecarga en la brida en condiciones at-

atmosféricas, para dar un margen de seguridad contra tal sobrecarga. La regla específica para el diseño de la carga W , en las condiciones atmosféricas, está basada en el promedio de las áreas mínimas y reales de los pernos.

$$W = \frac{A_m + A_b}{2} S_a$$

Para las condiciones de operación:

$$W = W_m$$

MOMENTOS DE LA BRIDA:

Existen varias fuerzas axiales actuando sobre la brida, lo cual produce momentos, que tratan de hacer que la brida se doble. El momento total es igual a la suma de esos momentos actuando sobre la brida, o sea:

$$M_o = M_D + M_f + M_G \text{ Kg-cm (lb-pg)}$$

El momento es el producto de una carga por la distancia o brazo de palanca por lo tanto:

Momento componente debido a H_D

$$M_D = H_D \cdot h_D \quad \text{Kg-cm (lb-pg)}$$

Momento componente debido a H_T

$$M_T = H_T \cdot h_T \quad \text{Kg-cm (lb-pg)}$$

Momento componente debido a H_G

$$M_G = H_G \cdot h_G \quad \text{Kg-cm (lb-pg)}$$

CARGAS

Fuerza hidrostática sobre el área interna de la brida.

$$H_D = 0.785 B^2 p \quad \text{Kg (lb)}$$

Donde : $B =$ Diámetro interno de la brida
cm. (pg)

Fuerza debida a la diferencia entre la fuerza hidrostática total y la fuerza hidrostática sobre el área interna de la brida.

$$H_T = H - H_D \quad \text{Kg (lb)}$$

Fuerza debida a la diferencia entre la carga total de pernos de diseño de la brida y fuerza hidrostática total.

$$H_G = W - H \quad \text{Kg (lb)}$$

BRAZOS DE PALANCA

Distancia radial del círculo de pernos, al círculo donde actúa H_D

$$h_D = \frac{C - B}{2} \quad \text{cm (pg)}$$

Donde: $C =$ Diámetro del círculo de pernos
cm. (pg)

Distancia radial del círculo de pernos, al círculo donde actúa H_T

$$h_T = \frac{h_D + h_G}{2} \quad \text{cm. (pg)}$$

Distancia radial de la carga de reacción del empaque, al círculo de pernos.

$$h_G = \frac{C - G}{2} \quad \text{cm. (pg)}$$

ESPESOR DE LA BRIDA

El espesor (t), se puede despejar de la ecuación para determi-

nar la carga de diseño S_t de la brida, el cual depende del material de construcción:

$$S_t = \frac{YMo}{t^2B}$$

o sea:

$$t = \sqrt{\frac{YMo}{s_t B}}$$

Donde:

Y = Factor que depende de K , el cual se obtiene por gráfica.

K = Relación entre el diámetro externo y el diámetro interno de

la brida = A/B

teniendo el espesor se comprueba con especificaciones para bridas de ASA B 16.5.

2.8.- MODULOS ADICIONALES

Uno de los factores importantes para que exista una buena transferencia de masa en el tipo de módulo al que se refiere el presente trabajo es la relación H/D (altura/diámetro), hasta ahora nos hemos referido al módulo base, el cual nos dará una relación H/D, normal a la de los fermentadores estandar, la cual, según lo recomendado por la literatura va de 1.5-2., como el equipo es para trabajo de investigación, proponemos 2 módulos adicionales al primero, que en realidad son 2 cilindros exteriores que quedarían unidos al módulo base, soldándoles en la parte anular superior e inferior un anillo; de la misma forma que se hizo en el cilindro base para sentar la tapa, ver 2.7. y así podremos obtener relaciones H/D de 4 y 8 según se use uno o dos módulos adicionales.

Al usar éstos módulos adicionales, tendremos cambios de volumen total y de operación, los cuales podremos calcular de la misma forma que se hizo para el módulo base, ver 2.2.

También los cilindros centrales cambiarán, los diámetros serán los mismos, pero la altura cambiará en la misma medida

que los cilindros exteriores adicionales.

2.9.- DIFUSORES

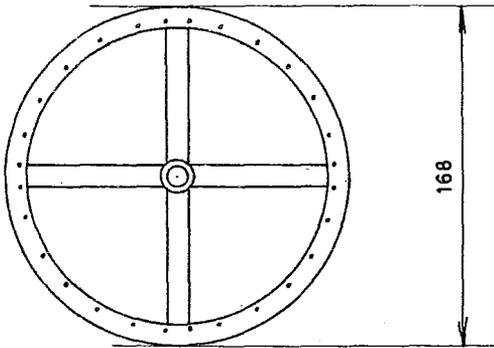
En sistemas no agitados, el diseño del difusor es de considerable importancia, ya que la corriente de aire introducido es la única forma de potencia suplida al sistema. A menudo son usados arreglos consistentes de una hilera de tubos, viniendo de un tubo central con pequeños agujeros perforados en la parte de abajo de los tubos. Otro diseño común de difusor, es el que consiste de un anillo simple con perforaciones en la superficie inferior. Un último diseño de difusor usado casi en todos los fermentadores modernos, es el que consiste en una simple perforación igual al diámetro interno del tubo de entrada de aire.

Los tipos de difusores que más se acoplan al diseño de nuestro fermentador, es el de anillo y el de una sola perforación.

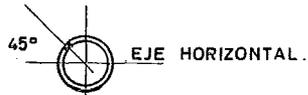
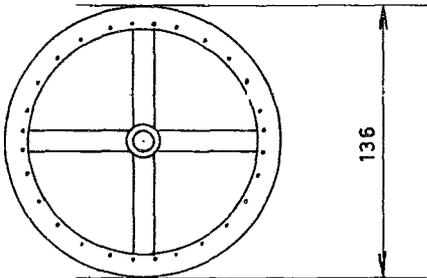
El difusor se adaptará al tubo de entrada de aire que baja por el centro de la tapa mediante una tuerca unión, para poder cambiarlo fácilmente según sea el cilindro central que se es-

té usando, de ésta manera, como tenemos tres cilindros centrales, tendremos 3 difusores de anillo y 3 difusores de una sola perforación. Las perforaciones en los difusores de anillo no quedarán en la parte de abajo, sino por la parte interna 45° arriba del eje horizontal del anillo, plano (1), para que así la corriente de aire salga inmediatamente hacia arriba y provoque el efecto de Monta-fugas (Air-lift) que es precisamente lo que se busca, el difusor de una sola perforación terminará en una pequeña U, plano (1), para que el aire salga también inmediatamente hacia arriba. Además, éstos difusores quedarán en la parte interna e inferior del cilindro central, ligeramente penetrados para que así, la corriente de aire arrastre el mosto por la parte interna del cilindro hacia arriba, escapando el aire y los gases de desecho, por el tubo de salida localizado en la tapa del fermentador y el mosto regrese por la parte externa del cilindro central, lográndose así la agitación y la transferencia de masa deseada.

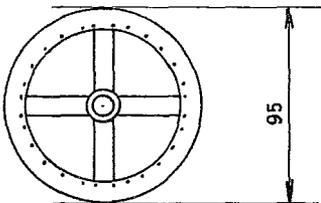
El diámetro de las perforaciones recomendado por la literatura para difusores varía de 0.3175 cm (1/8") a 0.635 cm. (1/4"), pero en el caso de equipo pequeño como es el nuestro,



DIFUSOR DE UNA PERFORACION
IGUAL AL DIAMETRO INTERIOR
DEL TUBO DE ENTRADA DE AIRE



PERFORACIONES EN LA PARTE
INTERNA DEL DIFUSOR A 45°



FERFO, S.A.			
INGENIERIA DE PROYECTOS			
D I F U S O R E S			
PROYECTO:	CALCULO:	DIBUJO:	PLANO:
Fdo. Garcia	Fdo. Garcia	Gvo. Garcia	1
ESCALA:	ACOTACION:	REVISO:	FECHA:
1: 2.5	Milímetros	Ing. L.M.C.	OCT. '72

diámetros de orificios de alrededor de 0.04 cm (1/64"), son mejores pues producen burbujas esféricas y consiguientemente, permiten una mejor eficiencia de aeración.

2.10.- EQUIPO DE CONTROL

Para poder hacer un buen trabajo de investigación, es necesario medir las variables que intervienen en dicha fermentación, lo más cercano posible y por lo cual se cuenta con el siguiente equipo de control.

1. Control de oxígeno disuelto. - Está compuesto de un módulo de control marca "Fermentation Design Inc.", modelo DO-1101-11 con 1 estación, indicador, control electrónico del dial, controles de tiempo ajustables, registrador, conexión de salida para controlar la agitación y otras funciones. Llevará un interruptor para dos electrodos. Los electrodos utilizados serán el modelo E 100 esterilizable, en su lugar o autoclavable, con largo de 9 pulgadas y con conexión de 3/8" NPT y cuerpo de 1/2 pg; y el modelo E 100 - 15, esterilizable, con largo de 15 pulgadas y con conexión de 3/8" NPT y cuerpo 1/2".

2. Control de pH.- Consiste de un módulo de control, marca "Fermentation Design Inc.", modelo PHRT, con 6 estaciones, indicador, registrador de cinta, controlador electrónico y ajuste manual para controles de adición de ácidos o álcali, o ambas y controlador de tiempos.

Un juego soporte con electrodo combinado tipo "Ingold" para pH, modelo F1155-3, con largo de 360 mm. y conexión de 3/4" NPT, autoclavable.

3. Control de eH.- Es un módulo de control, marca "Fermentation Design", modelo EHAC-6, con 6 estaciones, con indicador, registrador de cinta, controlador electrónico y ajuste manual para controles de adición de ácido o álcali, o ambas y controlador de tiempo.

Un juego soporte con electrodo combinado tipo "Ingold" para eH, modelo F1155-3, con largo de 360 mm. y conexión de 3/4" NPT, autoclavable.

Las válvulas utilizadas tanto para el control de oxígeno disuelto, como para la adición de álcali o ácido y antiespumante, son de la marca "Asco" y entre los factores principales para su

lección se cuentan los siguientes:

- a) Medio ambiente.- abrasión, corrosión, temperatura y presión.
- b) De acuerdo al servicio que desempeñarán.- suspendedoras de flujo.
- c) Según su forma de construcción.

En general el criterio para elegir la válvula consistió en escoger la de menor tamaño que permita el paso de caudal máximo necesario dando lugar a un control óptimo con la máxima economía, por lo anterior la válvula elegida fué, de solenoide con las siguientes características:

- 1. Recomendada para control de aire o gases a presiones regulares (160 psi de presión diferencial y temperatura de operación de 200° F) y tanques alimentados por gravedad.
- 2. Normalmente cerradas
- 3. Cuerpo de acero inoxidable, disco blando y asiento integral. En el caso de gases, el cuerpo y el asiento son

de acero inoxidable, no así en el caso de las válvulas para los tanques de adición, que consisten en válvulas con cuerpo de acero inoxidable pero asiento de teflón.

2.11.- TANQUES AUXILIARES

Debido a que gran número de fermentaciones llevan ajuste de pH agregando ácido o álcali, o ambos, para inducir a cierto microorganismo a que efectúe cierto trabajo, o también en cierto momento dicho microorganismo necesita de ciertos nutrientes para continuar su desarrollo; así como también la producción de espuma en gran cantidad de fermentaciones llega a ser crítica, es necesario contar con tanques auxiliares que en cualquier momento dado puedan suplir los requerimientos antes mencionados.

Por lo tanto, es necesario el diseño de 4 tanques similares, el primero para ácido, el segundo para álcali, el tercero para nutrientes y el cuarto para antiespumante.

El volumen de operación que se estimó conveniente, fué de 4 litros que es un 40% del volumen de operación de nuestro fermentador, base un 20% del módulo 4 y un 10% del módulo 8, con-

siderando un espacio libre necesario para la operación de esterilización de un 20%, tendremos un volumen final de 5 litros.

Los tanques consistirán esencialmente de un cuerpo cilíndrico, con tapa y fondo toriesféricos.

No llevarán camisa para vapor o agua de enfriamiento, pues se esterilizará en autoclave como unidad.

En la tapa llevará una entrada de aire mediante un cople de 0.3175 cm (1/8") y una entrada de material con un niple de 2.54 cm (1"), además salida de aire con un cople de 0.3175 cm. (1/8") En el fondo llevará la descarga con un cople de 0.3175 cm. (1/8") la cual conectará mediante una válvula a la tapa del fermentador.

La presión de operación será 1 Kg/cm², más que la presión del fermentador y la relación H/D = 1.5.

Con éstos datos de la fórmula del volumen:

$$V = 0.785 D^2 \times H$$

despejando y sustituyendo de la relación altura / diámetro:

$$H/D = 1.5 \quad H = 1.5 D$$

tenemos:

$$V = 1.178 D^3$$

de ahí podemos despejar el diámetro y con éste dato podemos calcular las dimensiones del cuerpo cilíndrico, fondo y tapa torisférica y espesor siguiendo un lineamiento similar a los de 2.2, 2.4 y 2.6, con lo cual queda completo el diseño del fermentador y tanques auxiliares.

CAPITULO III

CALCULOS DEL FERMENTADOR

- 3.1.- Dimensiones del Fermentador
- 3.2.- Espesor del Cuerpo Cilíndrico
- 3.3.- Dimensiones del Fondo del Fermentador
- 3.4.- Cuerpo Cilíndrico
- 3.5.- Espesor del Fondo Toriesférico
- 3.6.- Cilindros Centrales
- 3.7.- Tapa del Fermentador
- 3.8.- Módulos Adicionales
- 3.9.- Tanques Auxiliares

3.1.- DIMENSIONES DEL FERMENTADOR

Tenemos que el diámetro interno del tablero de la "Fermentation Design, Inc.", que dará cabida a nuestro fermentador, es igual a 21 cm. (8.27"), por lo tanto tenemos un D_e para nuestro fermentador igual.

$$D_e = 21 \text{ cm. (8.27")}$$

para poder hacer los cálculos necesitamos el D_i , por lo cual es necesario calcular el espesor del cuerpo cilíndrico como se vió en 2.4.

El volumen de operación es de 10 lts. como se vió en 2.1.

El volumen total del recipiente será de 13.800 lts., el que se obtiene considerando un 25% de espacio libre para fines de esterilización, aeración, más el volumen que desplazarán los cilindros centrales, habiéndose considerado el que mayor volumen des-

plaza que en éste caso es el de $3/4$ del área del cuerpo cilíndrico y más el volúmen de operación.

Volúmen de operación:

$$V_{op} = 10.000 \text{ l.}$$

Volúmen del espacio libre:

$$V_{25\% \text{ e.l.}} = \frac{V_{op}}{0.75} - V_{op} =$$

$$\frac{10.000}{0.75} - 10.000 = 3.330 \text{ l.}$$

Volúmen que desplaza el cilindro central:

Se obtiene de la forma explicada en

2.5 y calculada en 3.6

$$V_{cc} = 0.470 \text{ l.}$$

Volúmen total:

$$V_T = V_{op} + V_{25\% \text{ e.l.}} + V_{cc} =$$

$$10.000 + 3.330 + 0.470 = 13.800 \text{ l.}$$

3.2.- ESPESOR DEL CUERPO CILINDRICO

Nuestras condiciones son las siguientes:

Diámetro externo (De)-----21 cm (8.27 pg)

Radio externo (re)----- 10.5 cm (4.135 pg)

Presión máxima de operación----- 10.55 Kg/cm² (150 lb/pg²)

Carga de diseño (s) para acero

inoxidable 316 a la temp. máxima de operación de 138°C (281°F).

como establece el código A.S.M.E.

para recipientes a presión----- 1,269.9 Kg/cm² (18,062 lb/pg²)

Factor de unión mínimo (E) depen-

diendo del tipo de soldadura----- 0.7

Sustituyendo éstos datos en la fórmula:

$$t = \frac{Pr}{SE-0.4P}$$

obtendremos el espesor

$$t = \frac{10.55 \times 10.5}{1,269.9 \times 0.7 + 0.4 \times 10.55} = \left(\frac{150 \times 4.135}{18,062 \times 0.7 + 0.4 \times 150} \right)$$

$$t = 0.1242 \text{ cm.} = 0.0489 \text{ pg} \cong (3/64 \text{ pg})$$

Por razones de seguridad entre los que se cuentan; maleabilidad del acero, choques térmicos, factor de corrosión, se eligió una lámina comercial de 0.47625 cm. (3/16") que además es fácilmente maquinable.

Entonces tendremos un Di igual a:

$$D_e - 2t = D_i$$

o sea:

$$21.000 \text{ cm.} - 2 \times 0.47625 = 20.0475 \text{ cm.}$$

$$D_i = 20.05 \text{ cm (7.89 pg)}$$

$$r_i = 10.025 \text{ cm (3.95 pg)}$$

3.3.- DIMENSIONES DEL FONDO DEL FERMENTADOR

En función de un diámetro interno de 20.05 cm. y como consecuencia un radio interno de 10.025 cm. tenemos de acuerdo a 2.6.

Profundidad del fondo

$$h = 0.5 R = 0.5 \times 10.025 = 5.013 \text{ cm.}$$

Radio menor del fondo

$$r = 0.345 R = 0.345 \times 10.025 = 3.458 \text{ cm}$$

Radio mayor del fondo

$$L = 1.81 R = 1.81 \times 10.025 = 18.145 \text{ cm}$$

Volúmen de la sección del toro

$$V_t = \pi^2 (D-2r)^2 r^2 / 4 = (3.1416)^2 (20.05 - 2 \times 3.458)^2 3.458^2 / 4 = 386.67 \text{ cm}^3$$

Volúmen de la sección cilíndrica

$$V_c = 0.785(D-2r)^2 L = 0.785(20.05 - 2 \times 3.458)^2 18.145 = 468.69 \text{ cm}^3$$

Volúmen del segmento de la esfera

De acuerdo a tablas (20) para un segmento de esfera igual a

$(h-r) = (5.013 - 3.458) = 1.555 \text{ cm.}$, y un diámetro de la esfera

$2L = (2 \times 18.145) = 36.29 \text{ cm.}$, la relación altura del

segmento a diámetro de la esfera resulta ser $1.555/36.29 =$

0.043 cm. y por lo tanto $V_e/D_e^3 = 0.002851$, despejando el

volúmen obtenemos: $V_e = 0.002851 \times D_e^3 = 0.002851 \times$

$$(36.29)^3 \cdot V_e = 136.26$$

Volúmen de la Toriesfera

$$V_{te} = V_t + V_c + V_e = 386.67 + 468.69 + 136.26 = 991.62 \text{ cm}^3$$

3.4. - CUERPO CILINDRICO

De acuerdo a nuestro volúmen total de 13,800 lts., menos el volúmen del fondo toriesférico podemos obtener el volúmen del cuerpo cilíndrico y con ésto la altura del mismo y la altura que ocupará el medio.

Volúmen del cuerpo cilíndrico

$$V_c = V_t - V_{te} = 13,800 - 991.62 = 12,808.38 \text{ cm}^3$$

Altura del cuerpo cilíndrico

$$H_c = V_c / 0.785 D^2 = 12,808.38 / 0.785 \times (20.05)^2 = 40.59 \text{ cm}$$

Relación altura diámetro

$$R = H_c / D_c = \frac{40.59}{20.05} = 2.02$$

Altura intema total del fermentador

$$H_t = H_c + h_{te} = 40.59 + 5.013 = 45.603 \text{ cm}$$

Altura alcanzada por el medio en el cuerpo cilíndrico

$$h_m = H_C - \frac{\text{volumen del 25\% del espacio libre}}{0.785 D^2} = 40.590 - \frac{3,330}{0.785 (20.05)^2} = 30.038 \text{ cm}$$

3.5.- ESPESOR DEL FONDO TORIESFERICO

Siendo las mismas condiciones que en 3.2 y de acuerdo a la fórmula de 2.6, tenemos:

$$t = \frac{PLM}{2SE - 0.2P}$$

P - Presión de diseño----- 10.55 Kg/cm² (150 lb/pg²)

S - Carga de diseño----- 1,269.9 Kg/cm² (18,062 lb/pg²)

E - Factor de unión----- 0.7

L - Radio mayor de la sección

esférica----- 18,145 cm (7.14 pg)

r - Radio menor de la sección

esférica----- 3,458 cm (1.36 pg)

M - Constante evaluada de la siguiente manera:

$$M = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{L}{r}} \right)$$

$$M = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{18.145}{3.458}} \right)$$

$$M = 1.32$$

Sustituyendo

$$t = \frac{10.55 \times 18.145 \times 1.32}{2 \times 1,269.9 \times 0.7 - 0.2 \times 10.55} = \left(\frac{150 \times 7.14 \times 1.32}{2 \times 18,062 \times 0.7 - 0.2 \times 150} \right)$$

$$t = 0.1425 \text{ cm} = 0.0561 \text{ pg}$$

Por especificaciones el espesor del fondo nunca debe ser menor el espesor del cuerpo cilíndrico, por lo cual el espesor del fondo será también de 0.47625 cm (3/16 pg)

3.6.- CILINDROS CENTRALES

De conformidad a lo explicado en 2.7, tenemos las siguientes dimensiones para cada uno de los 3 cilindros centrales.

Area del cuerpo cilíndrico

$$A = \pi/4 D_i^2 = 0.785 \times (20.05)^2 = 315.57 \text{ cm}^2$$

Area del cilindro central 3/4

$$A_a = 3/4 A = 0.75 \times 315.57 = 236.67 \text{ cm}^2$$

Area del cilindro central 1/2

$$A_b = 1/2 A = 0.5 \times 315.57 = 157.78 \text{ cm}^2$$

Area del cilindro central 1/4

$$A_c = 1/4 A = 0.25 \times 315.57 = 78.89 \text{ cm}^2$$

Diámetro del cilindro central 3/4

$$D_a = \sqrt{A_a/0.785} = \sqrt{236.67/0.785} = 17.35 \text{ cm}$$

Diámetro del cilindro central 1/2

$$D_b = \sqrt{A_b/0.785} = \sqrt{157.78/0.785} = 14.18 \text{ cm}$$

Diámetro del cilindro central

$$D_c = \sqrt{A_c/0.785} = \sqrt{78.25/0.785} = 10.02 \text{ cm}$$

Altura de los cilindros centrales

La altura de los cilindros será la misma para los tres y equivale a la altura que ocupa el nivel del líquido en la porción cilíndrica, disminuida en 2 cm para que queden inundados en el medio de cultivo, o sea:

$$h_{cc} = h_m - 2 = 30.038 - 2.000 = 28.038 \text{ cm}$$

El volumen que ocupa o desplazan los cilindros es función —

del perímetro, la altura y el espesor, éste último corresponde a lámina de 0.3175 cm (1/8 pg). Por lo tanto, tenemos:

Volúmen del cilindro 3/4

$V_a = \pi D_a h_{cc} t = 3.14 \times 17.35 \times 28.038 \times 0.3175 = 484.97 \text{ cm}^3$, el cual comparado con el volúmen de 470 cm³, escogido para el cálculo del volúmen total (3.1), para fines prácticos resulta igual. Modificándose entonces el espacio libre a 24%, lo cual queda dentro de lo recomendado por la literatura.

Volumen del cilindro 1/2

$$V_b = \pi D_b h_{cc} t = 3.14 \times 14.18 \times 28.038 \times 0.3175 = 396.36 \text{ cm}^3$$

Volúmen del cilindro 1/4

$$V_c = \pi D_{ch_{cc}} t = 3.14 \times 10.02 \times 28.038 \times 0.3175 = 280.1 \text{ cm}^3$$

3.7.- TAPA DEL FERMENTADOR

De conformidad a lo explicado en 2.7, para el cálculo de la tapa del fermentador, primero necesitamos los datos referentes al empaque, para de ahí poder obtener el ancho de la superficie efectiva-

de empaque (b) y el diámetro donde se localiza la reacción de la carga (G), en éste caso, es en la mitad del empaque.

El material de empaque más adecuado por su limpieza y resistencia a altas temperaturas, es el neopreno, pero a falta de información de sus propiedades se hace referencia a las normas de la ASME para hule con malla de asbesto, a saber: factor de empaque (m) 2.25; punto de cedencia (y) 154.67 Kg/cm² (2,200 lb/pg²).

Con estos datos, la presión de operación de 10.55 Kg/cm² (150 lb/pg²) y considerando un diámetro interno de empaque de 21 cm. (8.27 pg), podemos calcular el diámetro externo y la anchura mínima de empaque.

DIAMETRO EXTERNO DEL EMPAQUE

$$\frac{d_o}{d_i} = \frac{y - pm}{y - p(m+1)} \Rightarrow \sqrt{\frac{154.67 - (10.55)(2.25)}{154.67 - 10.55(2.25+1)}}$$

$$\frac{d_o}{d_i} = 1.043$$

$$d_o = 1.043 \times d_i = 1.043 \times 21 = 21.904 \text{ cm (8.623 pg)}$$

ANCHURA MINIMA DEL EMPAQUE

$$N = \frac{d_o - d_i}{2} = \frac{21.904 - 21.000}{2} = 0.452 \text{ cm (0.178 pg)}$$

por lo tanto escogemos un empaque de 0.476 cm. (3/16 pg)

SUPERFICIE EFECTIVA DE EMPAQUE

$$b = \frac{N}{2} = \frac{0.476}{2} = 0.238 \text{ cm (0.0937 pg)}$$

DIAMETRO DONDE SE REALIZA LA REACCION DE LA CARGA

$$G = d_i + N = 21.00 + 0.475 = 21.475 \text{ cm (8.455 pg)}$$

con ésto tenemos las dimensiones básicas de la brida como se muestra en la fig. (5).

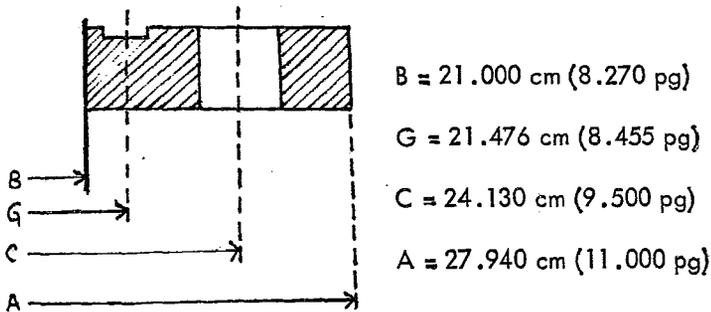


Fig 5 Dimensiones básicas de una brida

completando los datos para proseguir el diseño de la brida, tenemos:

DATOS:

$$P = 10.55 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (150 lb/pg}^2\text{)}$$

$$G = 21.476 \text{ cm (8.455 pg)}$$

$$b = 0.2384 \text{ cm (0.0937 pg)}$$

$$m = 2.25$$

$$\gamma = 154.67 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (2,200 lb/pg}^2\text{)}$$

S_b = Carga máxima permisible de los pernos a la temperatura de operación 136°C (281°F), 966.74 Kg/cm² (13,750 lb/pg²), (acero al carbón, ASME).

S_a = Carga máxima permisible de los pernos en condiciones atmosféricas... 966.74 Kg/cm² (13,750 lb/pg²), (acero al carbón, ASME).

S_t = Carga de diseño que para acero inoxidable a la temperatura de operación es de 1,269.9 Kg/cm² (18,062 lb/pg²).

Carga de Pernos

Carga de pernos necesaria para condiciones máximas de operación:

$$W_{m1} = H + H_p$$

Donde:

$$H = 0.785 G^2_p = 0.785 (21.476)^2 (10.55) = 3,819.69 \text{ Kg.}$$

$$H_p = 2b\tilde{H} G_{mp} = 2 \times 0.238 \times 3.14 \times 21.476 \times 2.25 \times 10.55 = 761.95 \text{ Kg.}$$

por lo tanto:

$$W_{m1} = 3,819.69 + 761.95 = 4,581.64 \text{ Kg.}$$

Carga inicial de pernos en condiciones atmosféricas sin presión interna:

$$W_{m2} = H_y = \tilde{H} b G_y$$

$$W_{m2} = 3.14 \times 0.238 \times 21.476 \times 154.67 = 2,482.37 \text{ Kg.}$$

Area de Pernos

Area de pernos en condiciones de operación con presión interna.

$$A_{m1} = \frac{W_m}{S_b} = \frac{4,581.64}{966.74} = 4.74 \text{ cm}^2$$

Area total necesaria en condiciones atmosféricas sin presión ---

interna.

$$Am_2 = \frac{Wm_2}{S_a} = \frac{2,482.37}{966.74} = 2.57 \text{ cm}^2$$

El área real de pernos (Ab), sobrepasa el área de diseño, ya --

que para que el ajuste sea uniforme la distancia entre pernos--

no debe ser muy grande; la brida consta de 8 pernos de 1.905 --

cm ($3/4$ pg), por lo tanto tendremos:

$$Ab = \frac{\pi}{4} d^2 (N^o p) = 0.785 \times (1.905)^2 \times 8 = 22.79 \text{ cm}^2$$

Carga de pernos en condiciones de operación con presión in---

terna.

$$W = Wm_1 = 4,581.64 \text{ Kg}$$

Carga de pernos en condiciones atmosféricas de presión y

temperatura .

$$W = \frac{(A_m + A_b)}{2} S_a = \frac{(4.74 + 22.79)}{2} \times 966.74 = 13,307.17 \text{ Kg}$$

Brazos de Palanca

Distancia radial del círculo de pernos, al círculo donde actúa H_D

$$h_D = \frac{C - B}{2} = \frac{24.130 - 21.000}{2} = 1,565 \text{ cm}$$

Distancia radial de la carga de reacción del empaque H_G al círculo de pernos.

$$h_G = \frac{C - G}{2} = \frac{24.130 - 21.476}{2} = 1.327 \text{ cm}$$

Distancia radial del círculo de pernos al círculo donde actúa H_T

$$h_T = \frac{h_D + h_G}{2} = \frac{1.565 + 1.327}{2} = 1.446 \text{ cm}$$

Carga

Fuerza hidrostática sobre el área interna de la brida.

$$H_D = 0.785 B^2 p = 0.785 (21.00)^2 \times 10.55 = 3,652.25 \text{ Kg.}$$

Fuerza debida a la diferencia entre la fuerza hidrostática total y la fuerza hidrostática sobre el área interna de la brida.

$$H_T = H - H_D = 3,819.69 - 3,652.25 = 167.44 \text{ Kg.}$$

Fuerza debida a la diferencia entre la carga total de pesos de diseño de la brida y la fuerza hidrostática total.

$$H_G = W - H = W_{m1} - H = 4,581.64 - 3,819.69 = 761.95 \text{ Kg.}$$

Momentos

Componente debido a H_D

$$M_D = H_D \cdot h_D = 3,652.25 \times 1.565 = 5,715.77 \text{ Kg-cm}$$

Componente debido a H_T

$$M_T = H_T \cdot h_T = 167.44 \times 1.446 = 242.12 \text{ Kg-cm}$$

Componente debido a H_G :

$$M_G = H_G \cdot h_G = 761.95 \times 1.327 = 1,011.11 \text{ Kg-cm}$$

Momento total :

$$M_o = M_D + M_T + M_G = 5,715.77 + 242.12 + 1,011.11 = 6,969 \text{ Kg-cm}$$

Espesor de la brida

El espesor lo obtenemos despejando de la ecuación, para determinar la carga de diseño S_t de la brida .

$$t = \frac{\sqrt{Y M_o}}{\sqrt{S_t B}}$$

$$K = A/B = \frac{27.940}{21.000} = 1.33$$

$Y = 7.1$ (de acuerdo a la gráfica, ASME)

$$t = \frac{\sqrt{7.1 \times 6,969}}{\sqrt{1,269.0 \times 21}} = 1.365 \text{ cm (0.5374 pg)}$$

Por factor de seguridad, corrosión, además de las perforaciones que llevará la brida, se tomó un espesor de 2.54 cm (1 pg)

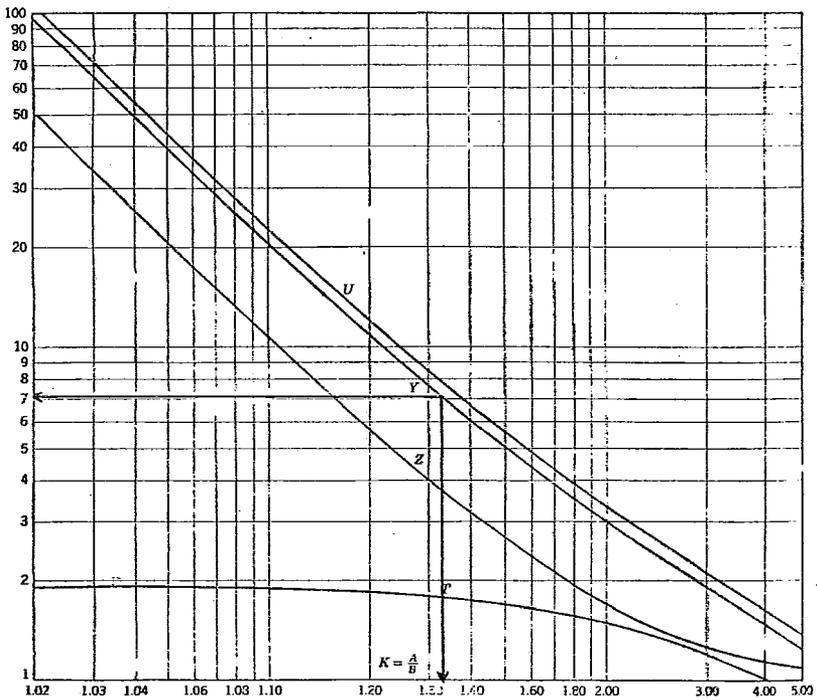


Fig.6 GRAFICA PARA OBTENER
VALORES DEL FACTOR "Y"

Tenemos entonces una brida con las siguientes especificaciones:

Díámetro externo-----27.940 cm (11 pg)
Espesor-----2.54 cm (1 pg)
No. de perforaciones para pernos-----8 (8)
Díámetro de las perforaciones-----2.222 cm (7/8 pg)
Díámetro de los pernos-----1.905 cm (3/4 pg)
Círculo de pernos-----24.130 cm (9 1/2 pg)

que coincide con la brida ciega estandar de acero inoxidable para tubería de 15.24 cm (6 pg), diámetro nominal; presión de prueba 10.55 Kg/cm² (150 lb/pg²) según especificaciones de la ASAB 16.5

Las mirillas que nos permitan ver la actividad de las fermentaciones, la producción de espuma, etc., consisten en una placa de vidrio de 5.08 cm (2 pg) de diámetro y 1.27 cm (1/2 pg) de espesor, la cual irá alojada en un tubo de 5.08 cm (2 pg) diámetro nominal, cédula 80, por un lado el tubo va soldado a la tapa del fermentador y por el otro lado lleva soldado un anillo interno a 2.54 cm (1 pg) de profundidad, éste tubo lleva una rosca interna de 1.905 cm -----

(3/4 pg) para alojar un anillo de cierre, el cual sujetará a la mirilla contra el anillo soldado, de la misma forma que se aplica en las mirillas "SARCO" que son colocadas a la salida de las trampas de vapor para verificar su funcionamiento.

Las mirillas llevan juntas de neopreno para evitar fugas. Las especificaciones del tubo que alojará a las mirillas son las siguientes:

Diámetro nominal	5.08 cm (2 pg)
Cédula	80
Diámetro externo	6.040 cm (2.375 pg)
Diámetro interno	4.932 cm (1.939 pg)
Espesor de pared	0.554 cm (0.218 pg)

3.8.- MODULOS ADICIONALES

Haciendo referencia a 2.8, tenemos 2 módulos adicionales con relaciones altura-diámetro de 4 y 8 respectivamente, por lo tanto tendremos los siguientes cálculos:

Fermentador con relación H/D = 4

Altura del cilindro M4

$$H_{CM4} = 4^D = 4 \times 20.05 = \text{-----}80.20 \text{ cm}$$

Como tenemos una altura proporcionada por el cilindro base, la altura del 2º cilindro será:

$$H_{C2} = H_{CM4} - H_{CB} = 80.20 - 40.59 \text{-----}39.61 \text{ cm}$$

Altura interna total del fermentador M4

$$H_{T4} = H_{CM4} + H_{te} = 80.20 + 5.013 \text{-----}85.213 \text{ cm}$$

Volumen del 2º cilindro

$$V_{C2} = 0.785 D^2 H_{C2} = 0.785 (20.05)^2 39.61 = 12,500 \text{ cm}^3$$

Volumen total del fermentador 4

$$V_{TM4} = V_B + V_{C2} = 13,800 + 12,500 = \text{-----}26,300 \text{ cm}^3$$

Volumen de operación

Como la relación H/D es prácticamente el doble que el módulo base, el volumen de operación será considerado el doble

tambien por lo tanto:

$$V_{op4} = V_{op3} \times 2 = 10.000 \times 2 = \text{-----} 20.000 \text{ Lt}$$

Volumen del espacio libre

El volumen del espacio libre para fines de esterilización, aeración, adiciones, será considerado un 20% del volumen total del fermentador.

$$V_{e1} = V_{TM4} \times 0.20 = 26,300 \times 0.20 = \text{-----} 5,260 \text{ cm}$$

Altura alcanzada por el medio en el cuerpo cilíndrico

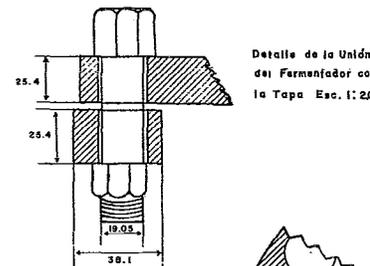
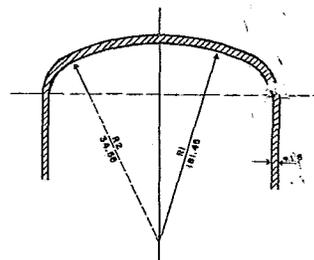
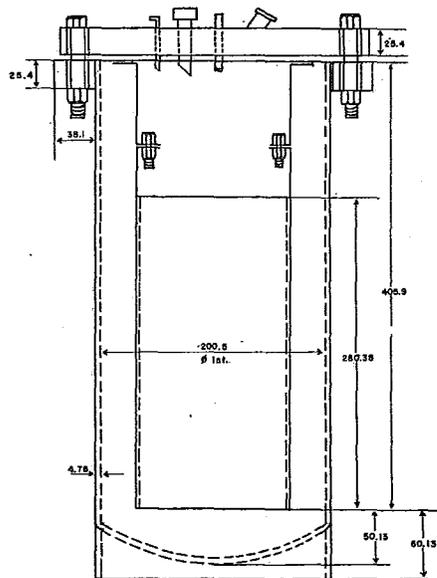
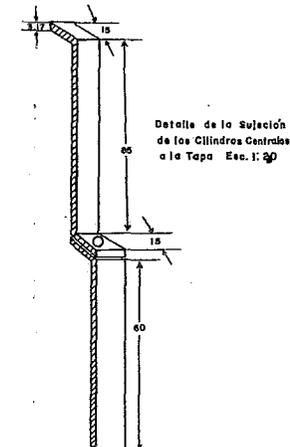
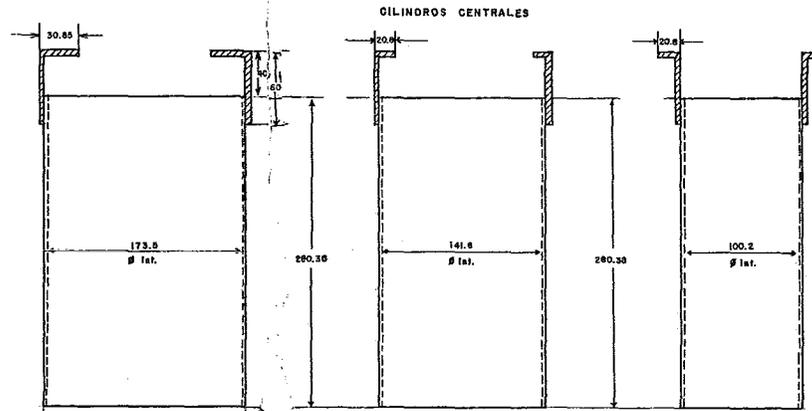
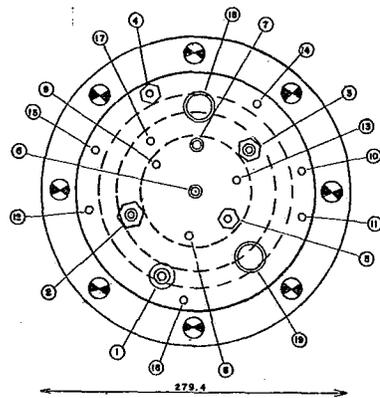
$$h_{mM4} = H_{CM4} - \frac{\text{Volumen del espacio libre}}{0.785 D^2} = 80.200 -$$

$$5,260/0.785 (20.05)^2 = 80.200 - 16,650 = 63.550 \text{ cm.}$$

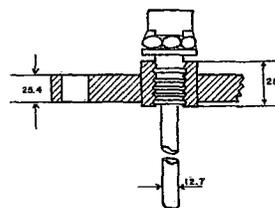
Altura del cilindro central M_4

Corresponde a la altura alcanzada por el medio disminuida en 2 cm.

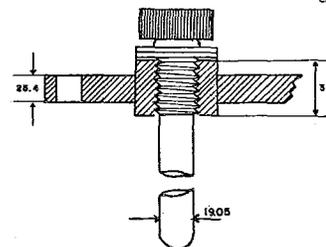
$$h_{CC4} = h_{mM4} - 2.00 = 63.55 - 2.00 = \text{-----} 61.55$$



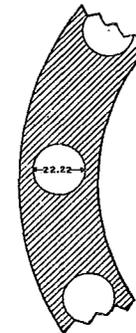
Diámetro de la guía de Pernos Esc. 1: 20



Detalle de entrada del electrodo de oxígeno disuelto.



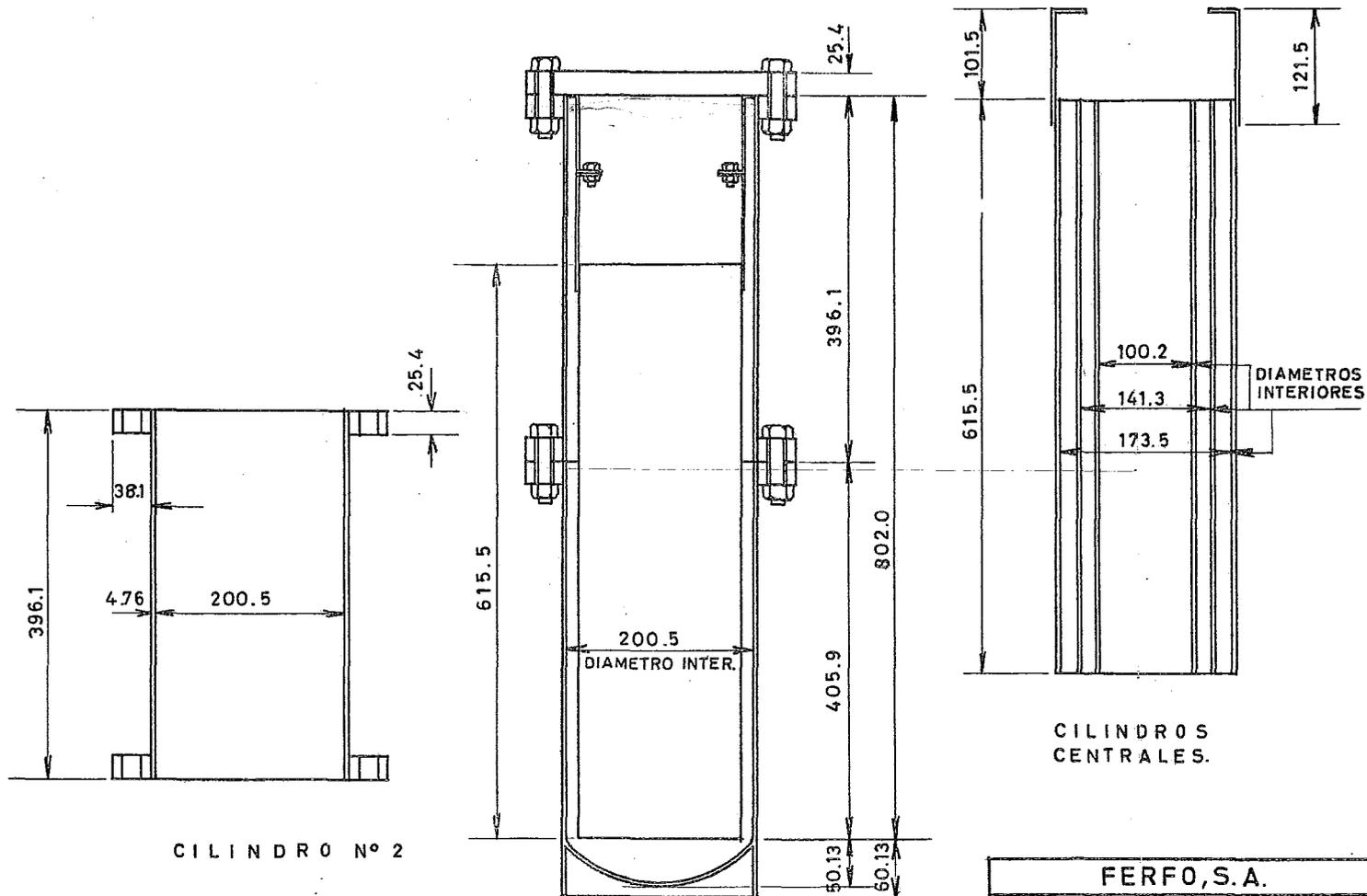
Detalle de entrada de los electrodos de ph y eh.



- 19- Mirilla de tubo de 2"
- 18- Mirilla de tubo de 2"
- 17- Entrada de nutriente 1/8" NPT
- 16- Entrada de antiespumante 1/8" NPT
- 15- Entrada de ácido 1/8" NPT
- 14- Entrada de alcali 1/8" NPT
- 13- Termopozo 1/8" NPT tubo 1/4" para gas
- 12- Termopozo 1/8" NPT tubo cerrado
- 11- Salida de agua caliente o fría 1/8" NPT
- 10- Entrada de agua caliente o fría 1/8" NPT
- 9- Toma de muestra niple largo 1/8" NPT
- 8- Entrada 1/8" NPT
- 7- Salida de aire tubo 1/8" NPT
- 6- Entrada de aire tubo 1/8" NPT
- 5- Rosca 3/8" NPT para electrodo de OD
- 4- Rosca 3/8" NPT para electrodo de OD
- 3- Rosca 3/8" NPT para electrodo de eh
- 2- Rosca 3/8" NPT para electrodo de ph
- 1- Niple 1/8" inoculación 3/8" cuerda recta

MATERIAL: SS-316
ACABADO: Sanitario
TOLERANCIA: ± 0.3.

FERFO S.A.			
INGENIERIA DE PROYECTOS			
FERMENTADOR			
AIR-LIFT			
Proyectó	Calculó	Dibujó	Plano
Fda. García	Fda. García	Gva. García	2
Escala	Acotación	Revisó	Fecha
1:40	m.m.	Ing. Miramontes	Oct/72



CILINDRO Nº 2

MODULO CON H/D = 4

CILINDROS CENTRALES.

FERFO, S.A.

MODULO CON RELACION
ALTURA/DIAMETRO = 4

PROYECTO:	CALCULO:	DIBUJO:	PLANO:
Fdo. Garcia.	Fdo. Garcia.	Gvo. Garcia	3
ESCALA:	ACOTACION	REVISOR:	FECHA:
1: 5	Milímetros	Ing. L.M.C.	OCT. '72

Volumen que desplaza el cilindro central

Con un diámetro de 17.35 cm., una altura de 61.55 cm y un---
espesor de 0.3175 cm., tenemos:

$$V_{CC4} = \pi D H_{CC4} t = 3.14 \times 17.35 \times 61.55 \times 0.3175 = 1.060 \text{ cm}^3$$

Con éstos datos se puede comprobar el 20% de espacio libre es--
cogido, pues tenemos:

$$V_{TM4} = V_{op4} + V_{e.14} + V_{CC4}$$

Por lo tanto tenemos :

$$V_{e.14} = V_{TM4} - V_{op4} - V_{CC4} = 26,300 - 20,000 - 1,060 = 5,240 \text{ cm}^3$$

que comparado con el volumen del 20% de espacio libre de 5,260
cm³, para fines prácticos es igual.

Fermentador con relación H/D = 8

Altura del cilindro M 8

$$H_{CMB} = 8 D = 8 \times 20.05 = \text{-----}160.40 \text{ cm}$$

Como tenemos una altura proporcionada por el cilindro del mó---

dulo 4, la altura del 3º cilindro será:

$$H_{C3} = H_{CMB} - H_{CM4} = 160.40 - 80.20 = \text{---} \text{---} 80.20 \text{ cm}$$

Altura interna total del fermentador M 8

$$H_{T8} = H_{CMB} + H_{te} = 160.400 + 5.013 = \text{-----} 165.413 \text{ cm}$$

Volumen del 3º cilindro:

$$V_{C3} = 0.785 D^2 H_{C3} = 0.785 (20.05)^2 80.20 = 25,300 \text{ cm}^3$$

Volumen total del fermentador 8

$$V_{TM8} = V_{TM4} + V_{C3} = 26,300 + 25,300 = \text{-----} 51,600 \text{ cm}^3$$

Volumen de operación

La relación altura-diámetro es el doble que el módulo 4, por lo tanto, el volumen de operación será considerado el doble.

$$V_{op8} = V_{op4} \times 2 = 20.000 \times 2 = \text{-----} 40.000 \text{ Lt.}$$

Volumen del espacio libre

Este volumen será considerado un 18.2% del volumen total del



fermentador.

$$V_{e.1.} = V_{TM8} \times 0.182 = 51,600 \times 0.182 = \text{-----}9,400 \text{ cm}^3$$

Altura alcanzada por el medio en el cuerpo cilíndrico

$$h_{mM8} = H_{CM8} - \frac{\text{Volumen del espacio libre}}{0.785D^2} = 160.40 - 9,400 /$$

$$0.785 (20.05)^2 = 160.400 - 29.800 = 130.600 \text{ cm}$$

Altura del cilindro central M8

Corresponde a la altura alcanzada por el medio disminuida en

2 cm.

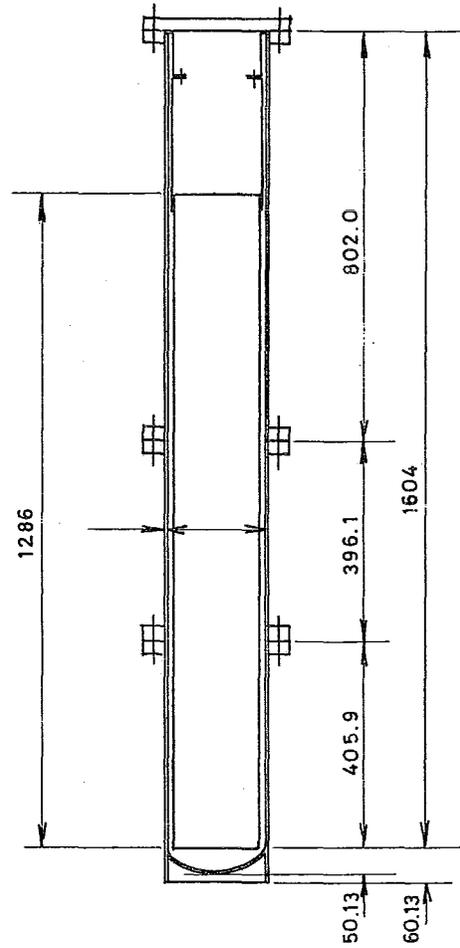
$$h_{CC8} = h_{mM8} - 2.00 = 130.60 - 2.00 = \text{-----}128.60 \text{ cm}$$

Volumen que desplaza el cilindro central

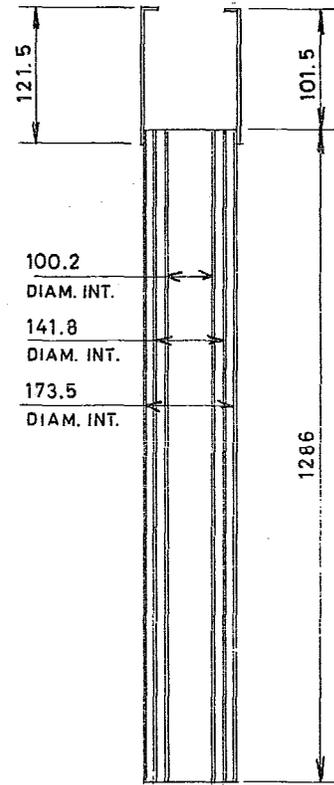
Con un diámetro de 17.35, una altura de 128.60 cm y un espesor de 0.3175 cm., tenemos:

$$V_{CC8} = \pi DH_{CC8}t = 3.14 \times 17.35 \times 128.60 \times 0.3175 = 2,225 \text{ cm}^3$$

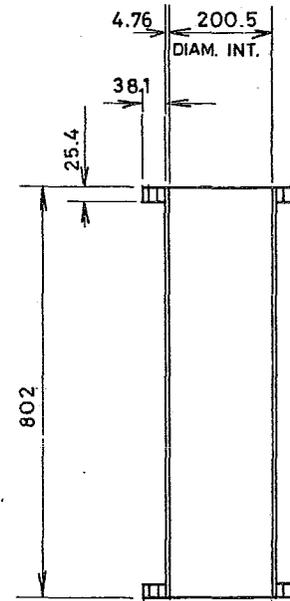
Con los datos anteriores, podemos comprobar el 18.2% de es-



MODULO CON H/D = 8



CILINDROS CENTRALES



CILINDRO Nº 3

FERFO, S. A.			
INGENIERIA DE PROYECTOS.			
MODULO CON RELACION ALTURA/DIAMETRO = 8			
PROYECTO:	CALCULO:	DIBUJO:	PLANO:
Fdo. García	Fdo. García	Gvo. García	4
ESCALA:	ACOTACION:	REVISO:	FECHA:
1:10	Milímetros	Ing. L.M.C.	OCT. '72

pacio libre, pues tenemos:

$$V_{TM8} = V_{op8} + V_{e.l.8} + V_{CC8}$$

por lo tanto:

$$V_{e.l.8} = V_{TM8} - V_{op8} - V_{CC8} = 51,600 - 40,000 - 2,225 =$$

$$9,375 \text{ cm}^3$$

Este volumen comparado con el de $9,400 \text{ cm}^3$, es prácticamente igual.

3.9.- TANQUES AUXILIARES

De acuerdo a lo mencionado en 2.11, tenemos:

Volumen de operación-----	4,000 ml
Espacio libre----- (20%)	1,000 ml
Volumen total-----	5,000 ml
Relación altura-diámetro-----	1.5

Esta relación altura-diámetro es la altura del cuerpo cilíndrico al diámetro del mismo, para poder usar ésta relación necesitaríamos conocer el volumen del cilindro, el cual vamos a determinar,---

pues el volumen conocido es incluyendo tapa y fondo toriesféricos por lo cual supondremos una relación mayor para que la relación real sea de aproximadamente 1.5.

Suponiendo una relación de altura-diámetro de 1.8, tendremos:

$$V = 0.785 D^2 H$$

$$H = 1.8 D$$

Sustituyendo:

$$V = 0.785 \times 1.8 D^3$$

$$V = 1.412 D^3$$

$$D^3 = V/1.412 = \frac{5000}{1.412}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{5,000}{1.412}} = \sqrt[3]{3540}$$

$$D = 15.24 \text{ cm}$$

Para un diámetro interno de 15.24 cm., tendremos entonces un radio de 7.62 cm y con esto:

Profundidad de la tapa y fondo:

$$h = 0.5R = 0.5 \times 7.62 = \text{-----} 3.81 \text{ cm}$$

Radio menor de la tapa y fondo:

$$r = 0.345R = 0.345 \times 7.62 = \text{-----} 2.629 \text{ cm}$$

Radio mayor de la tapa y fondo:

$$L = 1.81R = 1.81 \times 7.62 = \text{-----} 13.79 \text{ cm}$$

Volumen de la sección del toro:

$$V_t = \pi^2 (D-2r) r^2 / 4 = (3.1416)^2 (15.24 - 2 \times 2.629) 2.629^2 / 4 = 170 \text{ cm}^3$$

Volumen de la sección cilíndrica:

$$V_e = 0.785 (D-2r)^2 r = 0.785 (15.24 - 2 \times 2.629)^2 2.629 = 205.8 \text{ cm}^3$$

Volumen del segmento de la esfera:

Para un segmento de esfera igual a $(h-r) = (3.810 - 2.629) = 1.181 \text{ cm}$. y con un diámetro de la esfera $2L = 13.79 \times 2 = 27.58$, la relación altura del segmento al diámetro de la esfera es $H/D =$

$1.181/27.58 = 0.0428$ y por lo tanto $V_e/D_e^3 = 0.002824$ y
 despejado $V_e = 0.002824 \times D^3 = 0.002824 \times (27.58)^3 =$
 57.6 cm^3

Volumen de la toriesfera:

$$V_{te} = V_t + V_c + V_e = 170.0 + 205.8 + 57.6 = \text{----}433.4 \text{ cm}^3$$

Volumen de la tapa y fondo:

$$V_{tf} = 2V_{te} = 433.4 \times 2 = \text{-----}866.8 \text{ cm}^3$$

Volumen del cuerpo cilíndrico:

$$V_e = V_T - V_{tf} = 5,000 - 866.8 = 4,133.2 \text{ cm}^3$$

Altura del cuerpo cilíndrico:

$$H_c = V_c / 0.785 D^2 = 4,133.2 / 0.785 (15.24)^2 = \text{---}22.65$$

Relación altura-diámetro:

$$R = H_c / D_c = 22.65 / 15.24 = 1.48 \cong \text{-----}1.5$$

Que para fines prácticos coincide con la relación buscada.

Altura interna total del recipiente:

$$H_T = H_c + 2h = 22.65 + 2 \times 3.81 = \text{-----}30.27 \text{ cm}$$

Altura alcanzada por el medio en el cuerpo cilíndrico:

Para conocer ésta altura, necesitamos restar a la altura del cuerpo cilíndrico, la altura que corresponde al espacio libre en dicho cilindro, para lo cual sabemos el volumen del espacio libre y restándole el volumen de la tapa torisférica, conocido también, tenemos el volumen del espacio libre en la porción cilíndrica, lo que nos representa una altura.

$$V_{el_{pc}} = V_{el} - V_t = 1,000.0 - 433.4 = \text{-----}566.6 \text{ cm}^3$$

Por lo tanto:

$$h_m = H_C - V_{el_{pc}}/0.785D^2 = 22.65 - 566.6/0.785 (15.24)^2 = 22.65 - 3.11 = 19.54 \text{ cm.}$$

Espesor del cuerpo cilíndrico:

Tenemos los mismos datos que para el fermentador, solo que la presión máxima de operación será de 11.55 Kg/cm² (164.22

lb/pg²), o sea 1 Kg/cm² (14.22 lb/pg²), más que la presión del fermentador, por lo tanto, sustituyendo la fórmula:

$$t = \frac{Pr}{SE - 0.6P} = \frac{11.55 \times 7.62}{1,269.9 \times 0.7 - 0.6 \times 11.55}$$

$$t = 0.0999 \text{ cm} = 0.039 \text{ pg} = (5/128 \text{ pg})$$

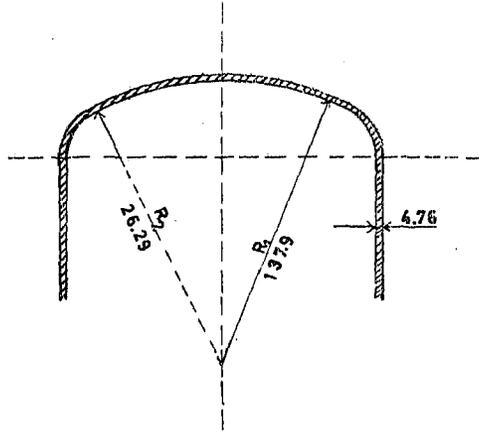
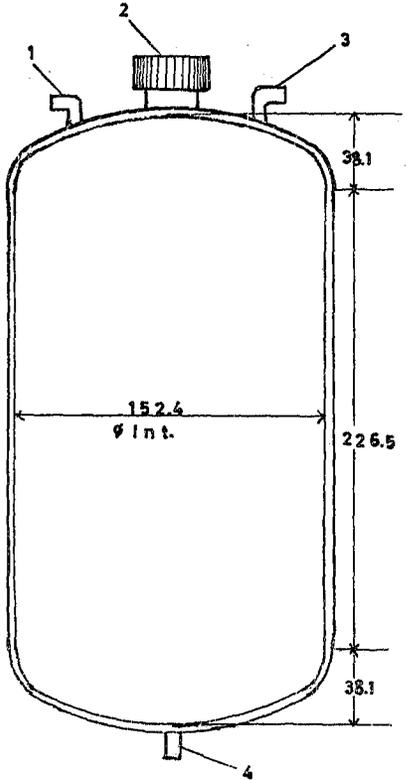
Por razones de seguridad entre los que se cuentan: maleabilidad del acero, choques térmicos, factor de corrosión, así como que tenga cierta rigidez y que sea fácilmente maquinable, se optó por lámina comercial de 0.47625 cm (3 lb/pg).

Espesor de la tapa y fondo toriesféricos:

Teniendo las mismas condiciones, excepto la presión que será también 11.55 Kg/cm² (164.22 lb/pg²), podemos hacer el cálculo sustituyendo:

$$t = \frac{PLM}{2SE - 0.2P}$$

$$M = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{L}{r}} \right)$$



- 4- Descarga 3.175 (1/8")
- 3- Salida de aire 3.175 (1/8")
- 2- Alimentación 25.4 (1")
- 1- Entrada de aire (1/8") 3.175

FERFOSA			
INGENIERIA DE PROYECTOS			
TANQUES AUXILIARES (4)			
PROYECTO	CALCULO	DIBUJO	PLANO
Fdo. Garcia	Fdo. Garcia	Gvo. Garcia	5
ESCALA	ACOTACION	REVISO	FECHA
1:2.5	Milímetros	Ing. L.M.C.	OCT. / 72

$$M = \frac{1}{4} \cdot 3 + \frac{13.790}{2.629} = 1.322$$

Por lo tanto:

$$t = \frac{11.55 \times 13.79 \times 1.322}{2 \times 1,269.9 \times 0.7 - 0.2 \times 11.55} = \frac{164.22 \times 5.43 \times 1.322}{2 \times 18,062 \times 0.7 - 0.2 \times 164.22}$$

$$t = 0.1188 \text{ cm} = 0.0467 \text{ pg} \approx (3/64 \text{ pg})$$

Pero por razones de seguridad, así como por especificaciones, el espesor del fondo y tapa nunca debe ser menor que el espesor del cuerpo cilíndrico, por lo cual serán también de lámina comercial de acero inoxidable de 0.47625 cm (3/16 pg)

Con estos resultados queda completo el diseño del fermentador, así como de los equipos auxiliares.

CAPITULO IV

COSTOS

En éste capítulo se proporciona el costo unitario y total, aproximado, del fermentador base, módulos adicionales, electrodos de control, tanques auxiliares, etc., la cotización es el objetivo último del diseño, pues su conocimiento permitirá evaluar el proyecto. El equipo está cotizado por "Eili Dicon, S. A." y llevará un acabado tipo sanitario con un pulido del No 8.

Fermentador base con capacidad de 13.800 Lt en acero inoxidable 316 de 3/16 pg, tapa del fermentador de espesor de 1 pg, juego de cilindros centrales de 1/8 pg de espesor, juego de difusores, conexiones, etc. Todo esto según plano.\$ 12,000.00 M.N

Cilindro para obtener una relación altura-diámetro de 4, juego de cilindros centrales, tubería para alargar entrada de aire u de calentamiento, etc., se

gún plano.....\$ 5,000.00 M.N.

Cilindro para obtener una re-----

lación altura-diámetro de 8, con-

juego de cilindros centrales, tu--

berña para alargar entrada de ai-

re, u de calentamiento, etc., se-

gún plano.....\$ 8,000.00 M.N.

4 tanques auxiliares para adición-

de ácido, álcali, nutriente y an--

tiespumante, según plano a -----

\$ 2,000.00 cada uno.....\$ 8,000.00 M.N.

4 válvulas solenoides para contro-

lar adiciones automáticamente a--

\$ 562.00 cada una.....\$ 2,248.00 M.N.

Electrodos para oxígeno disuelto-

marca "Fermentation Design", es-

terilizables en su lugar o autocla-

vables: 1 mod E 100-6 con longi-

tud de 15.24 cm (6 pg) y cuerpo
de 1.27 cm (1/2 pg)..... ..\$ 1,375.00 M.N.

1 mod. E 100-15 con longitud de
38.10 cm. (15 pg) y cuerpo de--
1.27 cm. (1/2 pg).....\$ 1,187.50 M.N.

1 mod E 100-28 con longitud de
71.12 cm (28 pg) y cuerpo de---
1.27 cm. (1/2 pg).....\$ 1,375.00 M.N.

1 mod. E 100-56 con longitud de
142.24 cm. (56 pg) y cuerpo de
1.27 cm. (1/2 pg).....\$ 1,562.50 M.N.

Un juego soporte con electrodo--
combinado tipo "Ingold" para---
pH modelo F1155-3 con largo---
de 360 mm.....\$ 3,875.00 M.N.

Un juego soporte con electrodo--
combinado tipo "Ingold" para eH

modelo F1155-3 con largo de 360
mm.....\$ 3,875.00 M.N.

La evaluación del proyecto sin in-
cluir tablero de control, ni módulos
de control para oxígeno disuelto,
pH, eH, es de:.....\$ 48,498.00 M.N.

La razón de que se omitan los table-
ros de control es que no serán exclu-
sivos para éste fermentador, sino que
servirán para fermentadores de vidrio
o de otro tipo y de otras capacidades
por lo cual habría que prorratear el
costo de éstos entre los equipos a u-
sarse y al tiempo usado por cada fer-
mentador, pero a continuación se dan
los precios para la evaluación comple-
ta del proyecto, como si fueran exclu-
sivos del equipo proyectado en éste
trabajo.

Módulo de Control de servicios--
marca "Fermentation Design", ---
modelo MA0501 con control de--
aire, temperatura y agitación.....\$ 26,687.50 M.N.

Módulo de control para oxígeno--
disuelto marca "Fermentation De-
sign", modelo DO-1101-11 con--
1 estación, indicador, control e--
lectrónico del dial, controles de--
tiempo ajustables, registrador y--
control de adiciones.....\$ 22,437.50 M.N.

Módulo de control para pH mar---
ca "Fermentation Design", mode-
lo PHRTP, automático con 2 bom-
bas peristálticas, indicador, regis-
trador de cinta, controlador elec-
trónico para adición de ácidos o--
álcali.....\$ 22,437.50 M.N.

Módulo de control para eH, marca "Fermentation Design", modelo eHRTP, automático con 2 bombas peristálticas, indicador, registrador de cinta, controlador electrónico para adiciones de ácido o álcali.....\$ 22,437.50 M.N.

TOTAL: \$ 142,498.00 M.N.

CAPITULO V

RESUMEN

En un intento de incrementar la eficiencia de la transferencia de oxígeno en fermentadores, un concepto diferente en el diseño de equipo está siendo desarrollado, el fermentador "Air-Lift" sin agitación mecánica y del cual nos ha ocupado el presente trabajo.

Como base del diseño se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Se fijó el diámetro externo del fermentador de acuerdo al diámetro interno del tablero de control donde sería montado.
2. Se escogieron los materiales de construcción en función del trabajo que desempeñarían.
3. Se dimensionó el fermentador, determinando las relaciones geométricas adecuadas. Se hizo el cálculo mecánico del mismo y se seleccionó la brida que funcionará como tapa con sus conexiones.
4. Se diseñaron los cilindros centrales en función a un % del área del cuerpo cilíndrico y con esto se dimensionó

naron.

5. Como la relación altura-dímetro es muy importante para la transferencia de oxígeno y más éste tipo de equipo que no cuenta con agitación mecánica, se vio la conveniencia de diseñar dos módulos adicionales al primero-- para obtener relaciones mayores de altura-dímetro.

Con base en esas relaciones se dimensionaron los módulos, se obtuvieron nuevos volúmenes y nuevas alturas para los cilindros centrales.

6. Se diseñaron tanques auxiliares tomando como base un volumen; con esto se determinaron las relaciones geométricas adecuadas y se hicieron los cálculos mecánicos-- de los mismos.

7. Se tiene equipo de control para medir las variables durante la fermentación, éste equipo cuenta con diferentes largos de electrodos, para poder usarlos con los diferentes módulos según sea el que se esté usando. Al respecto de éstos electrodos, es conveniente hacer algunas recomendaciones:

- a) Antes de esterilizar hay que revisar que tengan puesta su capucha de corto circuito.
- b) Terminada la esterilización, tener la precaución de que presión y temperatura bajen lentamente, pues si se enfría rápidamente el electrolito hervirá derramándose o cristalizándose, dañándose por lo tanto el electrodo.
- c) En el electrodo de oxígeno disuelto, poner un poco de grasa de silicón en la membrana del electrodo para evitar que se adhiera el mosto ocasionando falsas lecturas.

Con los datos obtenidos, se pudo llegar a la elaboración de los planos del fermentador, módulos adicionales, cilindros centrales, tanques auxiliares y así poder estimar el costo de construcción y el de los tableros de control, dándonos por resultado un equipo de laboratorio en el cual se pueden desarrollar diversos trabajos de investigación.

BIBLIOGRAFIA

1. Aiba, S., A. E. Humphrey, N. F. Mills. 1965. Biochemical Engineering. Academic Press, Inc. New York
2. A.S.M.E. Boiler and Pressure Vessel Code. 1952. Unfired Pressure Vessel. The American Society of Mechanical Engineers. New York.
3. A.S.M.E. 1960. Pressure Vessel and Piping Design Collected Papers 1927-1959. The American Society of Mechanical Engineers. New York.
4. A.S.T.E. 1959. American Society of Tool and Manufacturing Engineers. Tool Engineers Handbook. McGraw Hill Book Company Inc. New York.
5. Blakebrough, N. 1967. Industrial Fermentations. In "Biochemical and Biological Engineering Science". -- Blakebrough 1:25-47. Academic Press, Inc. London.
6. Brownell, L. E. Young E. H. 1959. Process Equipment Design. John Wiley & Sons, Inc. New York

7. B.S.I. Fusion Welded Pressure Vessels British Standard. 1965.
British Standard Institution, London.
8. Cooney Ch. L. y Wang D.I.C. 1971. Oxygen Transfer and Control. Biotechnol & Bioeng Symposium No. 2: 63-75. John Wiley, New York.
9. Chain, E. B., G. Gualandi., G. Morisi. 1966. Aeration Studies IV. Aeration Conditions in 3,000-liter Submerged Fermentations with Various Microorganisms. Biotech and Bioengineering, 8:595-619.
10. Douglas C. Greenwood. 1961. Engineering Data for Product Design. Mc Graw Hill Book Company, Inc., New York.
11. Ernest, E. L. 1964. Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants. 1: 160-181. Gulf Publishing Company, Houston.
12. Finn, R. K. 1954. Agitation-Aeration in the Laboratory and in Industry, Bact. Revs., 18:254-274

13. Finn, R. K. 1967. Studies on Agitation and Aeration. Biochemical and Biological Engineering Science. Blakelbrough, 1: 69-97. Academic Press, Londond
14. Fukuda, H., Sumino Y., Kanazaki T. 1968. Scale-up of Fermentors. J. Fermentation Tech. 46:829-838.
15. Hebrero J. 1969. Diseño y Construcción de un Fermentador con capacidad de 20 lts. para ser usado en Investigación. Tesis Profesional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. I.P.N. México, D. F.
16. Holmström B., C.G. Heden 1964. Flexibility in Cultivation Equipment I. A Small-Scale continuous Apparatus for the Study of Complex Processes. Biotech and Bioeng. Vol. VI (4): 419-439
17. Hospodka J., Casloasky Z., Beran X., Stross F. 1964 "The Polarographic Determination of oxygen Uptake and Transfer Rate in Aerobic Steady State Yeast Cultivation on Laboratory Plant Scale in "Continuous Cultivation of Microorganisms" Malek I. Beran K.,

Hospodka J. eds. Publishing House of the Czechoslovak Academy of Sciences, Prague.

18. Hütte. 1964. Manual del Ingeniero. Academia Hütte de Berlín Nueva Edición traducida de la 28a. Alemana. Editor Gustavo Gili, S. A. I Cap. VI y VII.
19. Lundgren D. G., R.T. Russell. 1956. An Air-Lift Laboratory Fermentor. Applied Microbiology. 4 (1):
20. Perry J. H., 1963. Chemical Engineers' Handbook. Fourth Edition. McGraw Hill Book Company-Kogakusha Company, Ltd., Tokyo.
21. Prescott, S.C. y C.O. Dunn. 1959. Industrial Microbiology. Third Edition. McGraw Hill Book Company, New York.
22. Rodríguez J. A. 1968. Diseño de un Fermentador de 1300 lts. Para usos Didácticos y de Investigación. Tesis Profesional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, I.P.N., México, D. F.
23. Solomons G. L. 1969. Materials and Methods in Fermentation, Academic Press, London.

24. Walker, J.A. Jr. y H. Holdsworth. 1958. Equipment Design.
In "Biochemical Engineering" Steel, R. Editor.
Heywood & Co. Ltd., London.

25. Wang, D.I.C. 1969. Engineering Aspects of Single Cell Protein Mass Transfer in Air-Lift Fermentor. Fermentation Technology Course. August 4-8
19 M.I.T., Cambridge.

26. Wang D.I.C. y A.E. Humphrey. 1969 Optimizing Fermenter Design. Biochemical Engineering. Chemical Engineering 76 (27) 118-120.