

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

17

CALCULO Y DISEÑO DE UN DIGESTOR
EXPERIMENTAL PARA LABORATORIO

94

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A N

ROBERTO JAVIER GUERRERO PEÑALVA
ANTONIO CHANG DIAZ

México, D. F.

1976



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.

Tesis

1976

Mt. 100 93

CLAS. Tesis
ADQ. 1976
FECHA 11-1-93
PROC. 11-1-93



QUÍMICA

Jurado asignado originalmente:

| | |
|---------------|------------------------------------|
| Presidente | Prof. Adalberto Tirado Arroyave |
| Vocal | Prof. Mario Guevara Vera |
| Secretario | Prof. Jorge A. Castaños Alcalá |
| 1er. Suplente | Prof. Guillermo Alcayde Lacorte |
| 2o. Suplente | Prof. Alfonso Franyutti Altamirano |

Sitio donde se desarrollo el tema:

Facultad de Química de la Unam y Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial.

Sustentante:

Roberto Javier Guerrero Peñalva ANTONIO Chang Diaz

Asesor:

Ing. Q. Jorge A. Castaños Alcalá

A MIS PADRES

A MI ESPOSA E HIJO

A MI ABUELA Y MIS HERMANOS

A MIS MAESTROS Y COMPAÑEROS

AL ING. JORGE A. CASTAÑARES A.

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|------|
| PROLOGO | 1 |
| I).- ANTECEDENTES Y OBJETIVOS | 2 |
| II).- OBTENCION GENERAL DE PULPAS CELULOSICAS QUIMICAS..... | 5 |
| III).- DISEÑO Y CONSTRUCCION | 15 |
| IV).- ESTUDIO ECONOMICO | 61 |
| V).- ANALISIS DE LOS CAPITULOS III Y IV | 65 |
| VI).- CONCLUSIONES | 66 |
| VII).- BIBLIOGRAFIA | 67 |

PROLOGO

El presente trabajo pretende contribuir a la creación de nuevos equipos para la realización de prácticas de diversas materias en el Laboratorio de Ingeniería Química de esta facultad, ya que en ocasiones por no contar con el equipo apropiado, no se realizan, o bien se realizan fuera del plantel.

A la vez, al enfocar trabajos de tesis sobre diseño, calculo y construcción de equipos, necesarios para prácticas de laboratorio, se cumple con una doble finalidad:

- 1.- El alumno y próximo profesionalista tiene la ventaja - de aplicar sus conocimientos al realizar trabajos semejantes.
- 2.- La facultad se ve favorecida al aumentar, en la medida de sus posibilidades, equipo necesario para la --realización de prácticas de laboratorio.

En suma, en este trabajo se presentan los diferentes conceptos de cálculo y diseño necesarios para la construcción de -reactores a presión.

I).- ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

Actualmente las prácticas de laboratorio de la materia Papel y Celulosa (I y II), que se imparte en esta facultad, se han desarrollado fuera de ésta por carecer del equipo necesario para llevarlas a cabo.

Dichas prácticas que se han efectuado en los Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial, en donde se cuenta con el equipo adecuado, representa a los alumnos un problema de traslado, ya que la mencionada Institución esta ubicada en un lugar distante de la universidad.

Al estar en estudio un proyecto sobre la implantación de la Maestría en Papel y Celulosa, en la Fac. de Química, existe la necesidad de contar con equipo apropiado para llevar a cabo investigaciones en esta rama.

Observando esto, y la necesaria capacitación del alumnado en diferentes operaciones de un proceso en especial, se presentan los siguientes objetivos que el presente estudio trata de cubrir.

A).- Presentar una metodología de cálculo y diseño para la construcción de equipo específico, para el Laboratorio de Ingeniería Química de la Fac. de Química de la UNAM.

B).- Facilitar a los alumnos que cursan la materia de Papel y Celulosa, un equipo en el cual puedan efectuar algunas de las prácticas que se requieren para la mejor comprensión de la -

teoría.

C).- Realizar investigaciones de diferentes tipos de procesos de digestión, con diferentes materias primas.

D).- Este Digestor (reactor a presión) aparte de servir para realizar los procesos tradicionales de obtención de pulpas celulósicas, se pueden efectuar otro tipo de prácticas e investigaciones, tales como cinética catálisis y otras más, debido a -- las características del material de construcción del reactor.

II).- OBTENCION GENERAL DE PULPAS CELULOSICAS QUIMICAS

A).- Fundamentos

B).- Materias Primas

C).- Procesos Comerciales

D).- Equipos Principales

II).- OBTENCION GENERAL DE PULPAS CELULOSICAS QUIMICAS

A).- Fundamentos

El Objetivo del proceso de obtención de pulpa, es la sepa ración de fibras de celulosa de la madera en condiciones tales - que en la fibra se produzcan propiedades comercialmente deseables. Esto se logra solubilizando la capa de lignina que rodea a las - fibras. Frecuentemente, las propiedades deseadas en las fibras - están ligadas con la eliminación de lignina y con la mínima de-- gradación química de la celulosa.

El movimiento de los reactivos químicos en la madera du-- rante la obtención de las pulpas químicas, es uno de los facto-- res más importantes tanto en los procesos químicos como en los - semiquímicos. En general, dicho movimiento tiene que lograrse an tes de haberse alcanzado las temperaturas máximas de reacción. - El calentamiento de la madera en ausencia de productos químicos, puede ser perjudicial. La velocidad de movimiento del licor de - cocción en la madera, está afectada por varios factores: concen-- tración, pH y composición del licor, densidad, contenido de hume-- dad, estructura de la madera, y condiciones de temperatura mante-- nidas durante el proceso. Dado que están involucrados dos meca-- nismos de transferencia de masa (Penetración y Difusión), la - - transferencia total se conoce como penetración. En un sentido -- más restringido, la penetración está relacionada con el movimien-- to de masa del licor dentro de los poros de la madera. Si estos-

se llenan de agua o se obstruyen de alguna otra manera, la transferencia más lenta de productos químicos del licor dentro de la madera, se efectúa principalmente por difusión. Ciertas barreras morfológicas en algunas maderas, constituyen un estorbo al movimiento de los licores de cocción. El astillado de la madera antes de procesarla químicamente, acorta las trayectorias para la penetración y para la difusión.

Como sucede con muchas reacciones químicas, las velocidades de las reacciones de cocción se incrementan por elevación de la temperatura, y el coeficiente de temperatura es sensiblemente el mismo que el encontrado en muchas reacciones químicas, es decir, la velocidad prácticamente se duplica por cada 10°C de aumento de temperatura. De lo anterior se infiere que el tiempo y la temperatura pueden ser intercambiados. (1)

Cuando el recipiente de reacción se ha llenado con astillas y se ha agregado la cantidad apropiada de licor, se alimenta vapor al recipiente y se aumenta la presión hasta alcanzar la temperatura de cocción. Durante esta etapa inicial de la cocción tienen lugar varios procesos: se elimina aire del recipiente por desplazamiento con vapor; el licor penetra en las astillas; los compuestos volátiles de la madera, como el aguarrás, comienzan a desprenderse por destilación; y los constituyentes sólidos más solubles empiezan a disolverse.

B).- Materias Primas

Anteriormente al uso de la madera, como fuente principal de pulpas celulósicas químicas, se usaban diversos tipos de fibras, como son: fibras de Linaza, Morera del papel, tallos de Bambú, fibras de hojas, el pelo de la semilla del Algodón, etc.

Actualmente la principal fuente de fibras para la fabricación de papel se obtiene de la madera, pero se ha tratado de aprovechar algunos subproductos industriales que presentan buenas características para la producción de pulpa. Estos materiales que están tomando un gran impulso son el bagazo de caña y la paja de varios cereales.

A partir del bagazo de caña se pueden producir prácticamente todos los tipos de pulpa. Desde una pulpa tipo mecánico, hasta cualquier tipo de pulpa blanqueada de alta calidad. Por consiguiente, el proceso a usar así como el tipo y cantidad de reactivos de cocción, dependen más bien del producto final deseado.

Las Gimnospermas, maderas suaves y las angiospermas o maderas duras son los dos tipos de materias primas más comunmente utilizadas en la actualidad.

El corte, transporte, descortezado y astillado de la madera son pasos importantes preliminares a la digestión de ésta.

Los árboles cortados se convierten en trozos y así son transportados a la fábrica, dándoles protección contra los diver

esos elementos que le atacan.

El descortezado de la madera se puede hacer a mano o utilizando diferentes tipos de descortezadores mecánicos.

La corteza es indeseable, ya que tiene poco valor como fibra, consume productos químicos, y ocasiona una pulpa sucia.

Los troncos se convierten en astillas para lograr una saturación rápida y completa con los licores de cocción. Con el astillado se logra que las trayectorias para la penetración de los licores sea más corta.

Para tener la materia prima en condiciones de ser procesada, es necesario hacer una separación de finos, gruesos, y astillas deseables.

C).- Procesos Comerciales.

La mayoría de las pulpas comerciales se producen mediante la utilización de relativamente pocos productos químicos que contienen azufre, oxígeno y alcalí. Los compuestos de azufre se utilizan en todo el rango de pH cubierto por los diferentes proceesos de obtención de pulpas, y los grupos químicos que derivan de estos compuestos en solución acuosa, corresponden a los niveles-específicos de pH que se mantienen en dichos procesos. La interación de estos compuestos de azufre con la lignina, junto con la-velocidad de hidrólisis regida por el pH, controla en gran parte el curso del proceso. Los efectos de la hidrólisis ácida disminu

yen a medida que el pH del sistema se mantiene mas cerca de la neutralidad. (1) Bajo esas condiciones, se presenta menos rompimiento hidrolítico de la lignina y de los carbohidratos. De lo anterior se infiere que con sistemas al sulfito neutro se obtiene un alto rendimiento de pulpa.

Las maderas duras (las cuales en general poseen un contenido más alto de hemicelulosas y más bajo de lignina que las maderas suaves), resultan de este modo ser las especies más favorables para ser procesadas con el proceso al sulfito neutro. (1)

A los niveles más altos de pH, muchas de las hemicelulosas se disuelven en el licor de cocción. (1) Las maderas que -- contienen altos porcentajes de resinas y grasas son procesadas -- más efectivamente en medio alcalino, en el cual estos compuestos se solubilizan por saponificación. Los sistemas al sulfito difícilmente afectan a las grasas y a las resinas.

En los procesos complementemente químicos (al sulfito, Kraft y a la sosa), se disuelve aproximadamente la mitad del peso de la madera cargada al digestor, y el rendimiento de la pulpa es de un 50% o menos.

La astilla se alimenta al digestor y se cuece con la cantidad adecuada de licor durante un tiempo fijado de antemano, bajo las condiciones de presión y temperatura que den el producto deseado.

Al final de la cocción, la pulpa y el licor se descargan-

a un tanque en forma tangencial para separarlos del vapor, este vapor es utilizado como medio de calentamiento.

En el tanque de descarga se tiene la pulpa, el licor negro que contiene la lignina y los reactivos de cocción gastados, así como también se alimenta licor negro diluido al tanque de -- descarga para bajar la relación de pulpa-licor, según las necesidades del proceso, para un fácil manejo de la pulpa. Estando la pasta a la dilución requerida, se bombea, pasando por un separamentos a los lavadores de pulpa, en donde el licor que contiene - los residuos solubles de cocción, se separa de la pulpa por lavado, primero con los licores más diluidos y finalmente con agua - limpia.

La pulpa una vez lavada es depurada y luego espesada a -- una consistencia de aproximadamente 10%, y así se bombea a un -- tanque almacén de donde se distribuye al departamento de blanqueo c al de refinación de pulpa cruda; de ambos se manda finalmente la pasta a los tanques de máquinas formadoras de papel.

El licor negro obtenido de lavadores es usado como dilu-- yente del licor de cocción para bajar la relación de baño y para bajar la consistencia de la pulpa sin lavar el resto se manda a la unidad de recuperación de reactivos químicos, que se reutilizan en las posteriores digestiones, y para la recuperación de calor. Ver Figura 1.

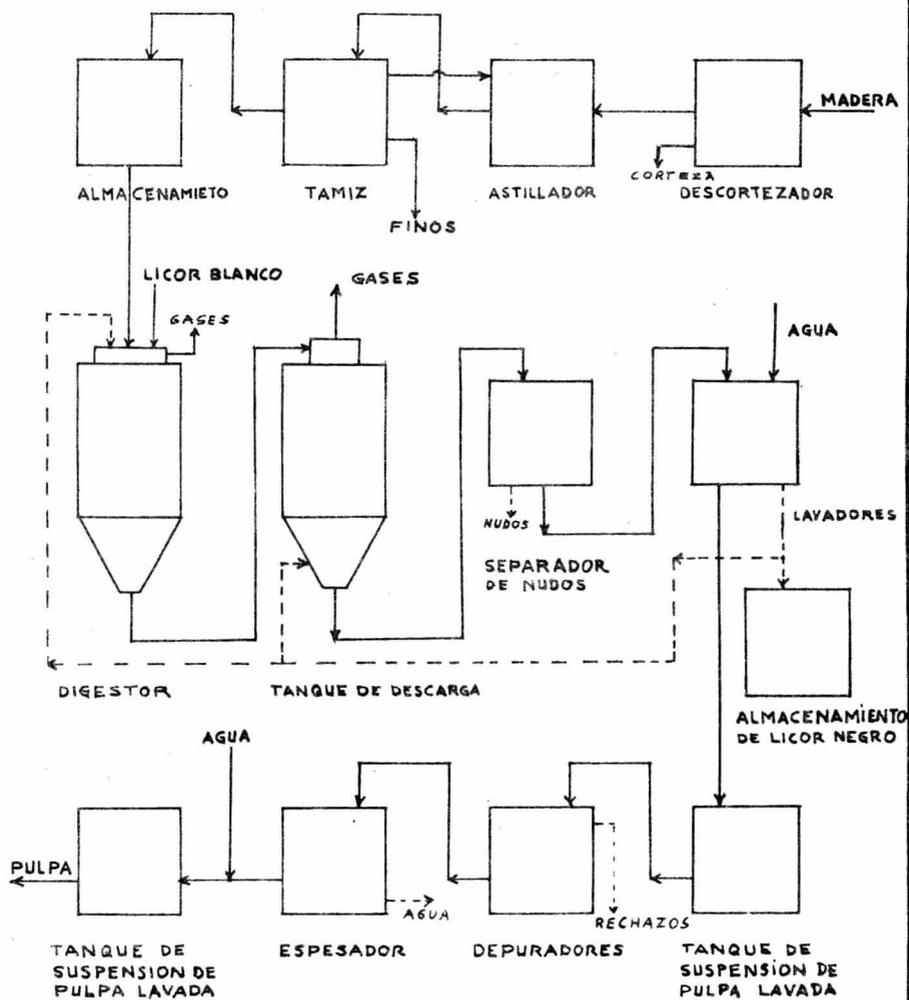


DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE PULPEO

FIGURA 1

D).- Equipos Principales

Digestor.-

El digestor estacionario convencional es un recipiente de cocción a presión. Las astillas y el licor se introducen por la parte superior y el vapor entra por el fondo, algunas veces se introduce el vapor y/o el licor por la parte lateral del cuerpo del digestor.

También se emplean digestores con calentamiento indirecto. En este tipo de digestor, en lugar de introducirse vapor para calentar el licor, este se hace circular por cambiadores de calor que proporcionan el calor necesario para la digestión.

Aunque no se conoce por completo el mecanismo de la co-rrosión del digestor, en todas las fábricas de pulpa se presenta, en mayor o menor grado, este fenómeno. Las investigaciones - - - efectuadas han demostrado que, por lo general, el grado de corrosión depende de la corrosividad del licor y/o de las diferentes condiciones de operación. La presencia de cloruro, sulfato y carbonato de sodio, en el licor blanco del proceso Kraft puede causar corrosión bajo determinadas condiciones; la calidad del acero y el contenido de sílice también afecta la velocidad de corrosión. El acero al carbón, por ser más económico, es el material más común de construcción para los digestores de procesos alcalinos. También son usados digestores con revestimiento de acero -- inoxidable.

Existen en operación algunos digestores contínuos que producen pulpa con un flujo uniforme.

Tanque de Descarga.-

Al final de una hervida, las astillas cocidas se "soplan" hacia un tanque de descarga. Un separador de ciclón, colocado en la parte superior del tanque, separa los vapores de descarga, de la pulpa y del licor. El vapor de descarga se envía a cambiado--res de calor, en los cuales se recupera calor calentando agua de proceso.

En el fondo del tanque hay un agitador para mezclar la --suspensión a alta consistencia, de la descarga del digestor, con licor de dilución. La suspensión diluída sale por el tanque de --descarga por una abertura que está cerca del fondo, pasa por un--separador que retiene fragmentos metálicos, etc., y se bombea hacia los lavadores de pulpa sin lavar.

III).- DISEÑO Y CONSTRUCCION

1).- Selección del Material

A).- Acero (recipiente)

B).- Aislante

2).- Diseño del Digestor

A).- Diseño del recipiente

B).- Cálculo de aislante

C).- Requerimientos de vapor

D).- Cálculo de tubería de descarga

E).- Accesorios

3).- Equipos y líneas secundarias

A).- Tanque de descarga

B).- Línea de soplado

C).- Motor y transmisión

D).- Tuberías y válvulas de vapor y agua

4).- Resumen de Resultados

III.- DISEÑO Y CONSTRUCCION

1.- SELECCION DEL MATERIAL

A).- Acero

El acero más comunmente usado en la industria del papel es el acero al carbón por sus buenas características físicas y económicas. Los digestores industriales construidos con este -- acro tienen una duración aproximada de 30 años (2).

El acero inoxidable tipo 316 también es recomendado por sus fabricantes para su uso en la industria del papel, por sus excelentes cualidades de resistencia a la corrosión y oxidación para los productos químicos usados en este proceso, pero su costo mucho más elevado lo hace menos usual (2). Ya que este equipo se pretende utilizar para otros tipos de reacciones químicas diferentes a las que se llevan a cabo en el proceso de pulpa, - se seleccionó acero inoxidable 316.

B).- Aislante

El aislante a seleccionar debe cumplir ciertas caracte-- rísticas como son:

Buena resistencia a la transferencia de calor.

Resistencia a la vibración

Que no se corroa ni favorezca la corrosión

Fácil instalación

Larga duración

Economía

Los aislantes que mejor cumplen estos requisitos son lana mineral y asbesto.

En la tabla (1) se presentan las características de ambos aislantes. Como se puede ver los dos cumplen con las condiciones deseadas. Se selecciono lana mineral debido a que su conductividad es aproximadamente cuatro veces menor que la del asbesto, lo cual nos representa un menor espesor del aislante.

TABLA I

| | <u>LANA MINERAL</u> | <u>ASBESTO</u> |
|---|---|---------------------------------|
| CONDUCTIVIDAD: | 0.043 Kcal/h m °C | 0.18 Kcal/h m °C |
| PRECIO SIN INSTALAR: | \$ 133.00/m ² | \$ 220/m ² |
| PESO/UNIDAD DE VOLUMEN: | 206 Kg/m ³ | 142 Kg/m ³ |
| INSTALACION: | Colchonetas con tela de alambre con cinchos y anclas soldadas al recipiente. | Medias cañas unidas con flejes. |
| ABSORCION DE HUMEDAD: | Menos de 1% por peso y 100% de humedad relativa por 96 horas a 49 °C. | |
| RESISTENCIA AL FUEGO: | Incombustible | Incombustible |
| TEMPERATURA MA XIMA DE SERVI CIO: | 650 °C | 1200 °C |
| CORROSION AL ACERO: | No causa ni acelera | No causa ni acelera |
| ESTABILIDAD FI SICA Y QUIMICA: | Buena resistencia al agua, vapor, humedad y gases corrosivos. Resistentes a golpes y vibraciones. | Mismas características. |

2.- DISEÑO DEL DIGESTOR

Para el diseño del digestor de laboratorio es necesario fijar una serie de datos que pueden ser considerados como fundamentales para el desarrollo del diseño del digestor.

Estos datos son los siguientes:

Temperaturas

Presiones

Capacidad

Flexibilidad

Agitación

Tipo de calentamiento

Como se pretende que el digestor pueda ser utilizado para procesar diferentes tipos de materia prima, se consideraran las condiciones más drásticas de operación, para otorgarle una buena flexibilidad en cuanto a presiones y temperaturas. Se considerará para el cálculo, madera como materia prima.

El calentamiento será directo, usando vapor saturado. En el laboratorio de la Facultad de Química, se dispone de una caldera que nos proporciona vapor saturado hasta de 14 Kg/cm^2 de presión, la cual satisface nuestra necesidad de 7.5 Kg/cm^2 que es nuestra presión de trabajo. El vapor saturado determina la presión y temperatura en el digestor. El control y registro de temperatura (y presión) se efectuarán por medio de un Registra-

dor Controlador automático (Termógrafo).

El digestor será rotatorio, tomando en consideración que se piensa emplear para digestiones con paja de cereales bagazo- y otros tipos de materias primas voluminosas, ya que este diseño proporciona un mezclado uniforme y por lo tanto una buena penetración del licor en la materia prima.

A).- Diseño del Recipiente

Condiciones de diseño:

$$P_d = 10 \text{ Kg/cm}^2$$

$$T_d = 183.5 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (De tablas de vapor saturado)}$$

$$\text{Capacidad} = 30 \text{ l}$$

Espacio Vacio = 10% mínimo

La presión de diseño deberá ser superior a la presión -- normal de trabajo del recipiente en las condiciones más severas, con el fin de dar margen a un aumento instantáneo de presión so bre la presión de disparo del dispositivo de seguridad. Para -- nuestro caso con 25% será suficiente. Por lo tanto como nuestra presión de trabajo será de 7 a 8 Kg/cm² máximo, se diseñará pa- ra las condiciones arriba mencionadas.

Como las especificaciones de dimensionamiento dadas en - la literatura para recipientes a presión (4), (5), son para recipientes tamaño industrial, no fueron consideradas para nues

tro cálculo, ya que no influyen grandemente para recipientes a escala de laboratorio. Por lo tanto el dimensionamiento se hizo atendiendo únicamente la forma.

Las dimensiones serán:

$L = 0.585$ m Longitud de la sección recta

$D = 0.30$ m Diámetro

$r = 0.90 D$ Radio de curvatura de las tapas (4)

Estas dimensiones nos dan un volumen "V" de 45 lt, con lo cual aseguramos un buen espacio (10% mínimo) Ver figura (1)

Cálculo de la envolvente:

El espesor "t" de la coraza se calcula de acuerdo a (4):

$$t = \frac{PR}{SE-0.6P} \dots\dots\dots (1)$$

donde:

P = presión de diseño (Kg/cm²)

R = radio del recipiente (cm)

S = esfuerzo máximo permisible (Kg/cm²)

E = eficiencia de la junta soldada

t = espesor de la envolvente (cm)

E se considerará de 0.7 para junta soldada en "V"

$P_d = 10$ Kg/cm²

R = 15 cm

S = 1246.5 Kg/cm²

sustituyendo los datos tenemos:

$$t = \frac{10 \times 15}{1246.5 (0.7) - 0.6 (10)} = 0.1731 \text{ cm (0.0682 in)}$$

Como este espesor no es comercial se utilizará el inmediato superior que es de 0.198 cm (5/64") lámina calibre 14.

Por lo tanto la presión máxima permisible para este espesor de placa será:

Despejando P de la fórmula (1) tenemos:

$$P_{\max} = \frac{tSE}{r + 0.6t}$$

$$P_{\max} = \frac{(0.198) (1246.5) (0.7)}{15 + 0.6 (0.198)} = 11.44 \text{ Kg/cm}^2$$

Con lo cual se tiene un margen de seguridad un poco mayor.

Cálculo de Tapas:

Para recipientes a presión es necesario utilizar tapas formadas. De acuerdo con esto son varios los tipos de tapas formadas que se pueden utilizar para los requerimientos del Digestor. Se seleccionaron tapas esféricas, ya que son las que más comúnmente se usan bridadas y aunque la tapa del fondo va a ir soldada se utilizará del mismo tipo por economía en la construcción (5).

La fórmula para calcular el espesor de la tapa una vez formada es la siguiente (4):

$$t = \frac{5Pr}{6S} \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

t = espesor de la tapa una vez formada (cm)

P = presión de diseño (Kg/cm²)

r = radio de curvatura de la tapa (cm)

S = esfuerzo máximo permisible (Kg/cm²)

$$P = 10 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S = 1246.5 \text{ Kg/cm}^2$$

r = puede ser hecho igual o menor que el diámetro interno de la tapa (5).

Como primera tentativa usaremos $r = D = 30$ cm entonces:

$$t = \frac{5 \times 10 \times 30}{6 \times 1246.5} = 0.20 \text{ cm (0.0787 in)}$$

Como este espesor es mayor que el espesor de la coraza--disminuímos el radio de curvatura "r" para disminuir el espesor requerido:

$$r = 0.9 D$$

$$r = 0.9 \times 30 = 27 \text{ cm}$$

el nuevo espesor será:

$$t = \frac{5 \times 10 \times 27}{6 \times 1246.5} = 0.18 \text{ cm (0.0711 in)}$$

Con lo cual podemos utilizar el mismo espesor que el de la coraza.

Para la tapa inferior el espesor se verá influenciado -- por la eficiencia de la junta. Como la junta será soldada a "tope" por ambos lados $E = 0.7$.

$$t = \frac{5Pr}{6SE}$$

$$t = \frac{5 \times 10 \times 27}{6 \times 1246.5 \times 0.7} = 0.257 \text{ cm. (0.1012 in)}$$

Con lo cual tenemos que usar un espesor mayor, que comercialmente corresponde a 0.277 cm (7/64") Calibre 12

Refuerzo:

Cuando el orificio es pequeño la literatura no recomienda que se usen refuerzos (5). Pero como el digestor tendrá esfuerzos torsionales, ya que va a estar girando se le colocará por razón de seguridad una placa de refuerzo que será dos veces el espesor de placa de la envolvente y un diámetro de 1/3 de la altura del recipiente.

Cálculo de la Brida de la Tapa.

$$P_d = 10 \text{ Kg/cm}^2 \quad (142 \text{ Psia})$$

$$T_d = 183.5 \text{ }^\circ\text{C} \quad (362.3 \text{ }^\circ\text{F})$$

Esfuerzo máximo permisible = $S = 1245.5 \text{ Kg/cm}^2$ (17700 -- lb/in²).

Dadas las condiciones de presión y temperatura se escogió como empaque asbesto con un espesor de 1/16".

Factor de empaque $m = 2.75$

Esfuerzo de cedencia $y = 260.6 \text{ Kg/cm}^2$ (3700 lb/in²)

Tenemos que:

Esfuerzo de asentamiento - fuerza P. hidrostática = Fuerza residual de empaque.

$$\frac{\pi}{4} (d_o^2 - d_i^2) y - \frac{\pi d_o^2}{4} P = \frac{\pi}{4} (d_o^2 - d_i^2) P m \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

y = esfuerzo de cedencia

P = presión interna

m = factor de empaque

d_o = diámetro externo del empaque

d_i = diámetro interno

$$\frac{d_o}{d_i} = \sqrt{\frac{y - Pm}{y - P(m+1)}} \dots\dots\dots (4)$$

$$\frac{d_o}{d_i} = \sqrt{\frac{260.6 - 2.75 \times 10}{260.6 - 3.75 \times 10}} = 1.022$$

$$d_o = 30.4 \times 1.022 = 31.07 \text{ cm} \approx 31.1 \text{ cm.}$$

$$d_o = 311 \text{ mm.}$$

$$F = P \times A \dots\dots\dots (5)$$

$$F = 10 \text{ Kg/cm}^2 \times \frac{\pi}{4} (31.1 \text{ cm})^2 = 7596.5 \text{ Kg.}$$

$$F = 7596.5 \text{ Kg.}$$

$$7596.5 \text{ Kg} \leq n_t \times A_t \times \sigma_t$$

Area de tornillos necesaria mínima.

$$A = \frac{F}{\sigma_t} = \frac{7596.5 \text{ Kg}}{1408 \text{ Kg/cm}^2} = 5.40 \text{ cm}^2 \dots\dots\dots (6)$$

$$N_t = \frac{A}{A_t} \text{ número de tornillos necesarios (siempre debe ser un múltiplo de 4).} \dots\dots\dots (7)$$

Donde:

n_t = número de tornillos

A_t = área de cada tornillo

σ_t = esfuerzo del material de los tornillos = 1408 Kg/cm²
máxima permisible.

El área de cada tornillo se encuentra en tablas.

De tabla 10.4 de (5)

Para tornillos de 1/2 pulg.

$$A_t = 0.126 \text{ pulg}^2 = 0.813 \text{ cm}^2/\text{tornillo}$$

$$N_t = \frac{5.40 \text{ cm}^2}{0.813 \text{ cm}^2/\text{tornillo}} = 6.65 = 7 \text{ tornillos}$$

Como el número de tornillos debe de ser múltiplo de 4, -
el número de tornillos se redondea a 8.

$$N_t = 8 \text{ tornillos}$$

Si el tornillo es de 1/2 el orificio debe de ser 1/16 de
pulg. mayor.

Diámetro del orificio del tornillo = 9/16 pulg = 1.43 cm.

Distancia de cara realzada a orilla de orificio (A)

Se recomienda 0.3% de d_o .

$$A = 31.1 \times 0.03 = 0.933 \text{ mm} \approx 1 \text{ mm}$$

Distancia del centro del orificio a la orilla:

$$E = 5/8 \text{ pulg} = 1.6 \text{ cm} \dots\dots\dots (5)$$

$$\begin{aligned} \text{Espaciamiento máximo} &= \frac{\text{perímetro de tornillos}}{\text{número de tornillos}} \dots (8) \\ &= \frac{\pi \times 327.5}{8} = 128.6 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Espaciamiento máximo = 12.86 cm.

Espaciamiento mínimo:

$$e_m = 2d + \frac{6t}{m + 0.5} \dots\dots\dots (9)$$

Donde:

e_m = espaciamento mínimo

d = diámetro de tornillo

t = espesor de brida

m = factor de empaque

Espesor de brida:

$$t = 0.72 \sqrt{\frac{M_o Y}{S \phi_{int}}} \dots\dots\dots (10)$$

Donde:

S = esfuerzo máximo permisible

M_O = momento total

$$Y = \frac{1}{K - 1} \left(0.66845 + 5.71690 \frac{K^2 \log K}{K^2 - 1} \right) \dots\dots (11)$$

$$K = \frac{\phi_{ext}}{\phi_{int}} \dots\dots\dots (12)$$

$$g_1 = 0.7 \sqrt{\frac{M_O}{S \phi_{int}}} \dots\dots\dots (13)$$

Momento total:

$$M_O = M_D + M_G + M_t \dots\dots\dots (14)$$

Donde:

$$M_D = F_D \times h_D = \text{momento causado por presión hidrostática} \dots\dots\dots (15)$$

$$M_G = F_G h_G = \text{momento causado por W- presión hidrostática} \dots\dots\dots (16)$$

$$M_t = F_t h_t = \text{momento causado por presión hidrostática calculada con } \phi_i \dots\dots\dots (17)$$

$$F_{torn} = \text{No. tornillos} \times \frac{A}{\text{tornillo}} \times S_{\text{Tornillo}} \dots\dots\dots (18)$$

$$= 8 \text{ tornillos} \frac{0.813 \text{ cm}^2}{\text{tornillo}} \times 1400 \text{ Kg/cm}^2 = 9106 \text{ Kg.}$$

$$M_O = F \times d = 9106 \text{ Kg} \times 1 \text{ cm} = 9106 \text{ Kg-cm}$$

Sustituyendo en fórmula (13)

$$g_1 = 0.7 \frac{9106 \text{ Kg-cm}}{1245.5 \text{ Kg/cm}^2 \times 30.4 \text{ cm}} = 0.35 \text{ cm}$$

$$g_1 = 0.35 \text{ cm.}$$

Sustituyendo en fórmula (12)

$$K = \frac{328.25}{304} = 1.0798$$

Sustituyendo en fórmula (11)

$$y = \frac{1}{0.0778} (0.66845 + 5.71690 \frac{(1.0798)^2 \log 1.0798}{(1.0798)^2 - 1})$$

$$y = 8.4$$

Sustituyendo en fórmula (10)

$$t = 0.72 \sqrt{\frac{9106 \text{ Kg-cm} \times 8.4}{1245.5 \text{ Kg/cm}^2 \times 30.4 \text{ cm}}}$$

$$t = 1.04$$

Espaciamiento mínimo:

$$e_m = 2d + \frac{6t}{m + 0.5} \dots\dots\dots (19)$$

$$d = 1/2 \text{ pulg} = 1.27 \text{ cm} = 12.7 \text{ mm}$$

$$t = 1.05 \text{ cm} = 10.5 \text{ mm} = 0.413 \text{ pulg}$$

$$m = 2.75$$

$$e_m = 2(0.5) = \frac{6(0.413)}{2.75 + 0.5} = 1.7625 \text{ pulg} = 4.5 \text{ cm}$$

$$e_m = 4.5 \text{ cm}$$

B).- Cálculo de Aislante

El cálculo del espesor del aislante se hizo de dos maneras.

Método teórico tradicional (6)

En base a información del fabricante (3)

Método teórico tradicional.-

El método es por tanteos. Se fija un espesor de aislante y se supone la temperatura de la cara fría "T₁".

$$q = \frac{\pi (T_s - T_a)}{\frac{2.3}{2K_c} \log \frac{D_1}{D_s''} + \frac{1}{h_a D_1}} \dots (20) = \frac{\pi (T_s - T_1)}{\frac{2.3}{2K_c} \log \frac{D_1}{D_s''}} \dots (21)$$

Donde:

q = pérdidas de calor (Kcal/hr m)

T_s = temperatura dentro del digestor (°C)

T_a = temperatura del aire ambiente (°C)

T₁ = temperatura de la cara fría del aislante (°C)

K_c = conductividad térmica del aislante (Kcal/°C m)

D₁ = diámetro total incluyendo aislante (m)

D_s'' = diámetro externo del digestor (m)

h_a = coeficiente combinado de convección y radiación - -

Kcal/hr m² °C

Para un espesor de 0.0508 m (2")

Para una T_1 de 45 °C (supuesta)

$$D_s'' = 0.304 \text{ m}$$

$$T_s = 170 \text{ °C}$$

$$T_a = 20 \text{ °C}$$

$$K_C = 0.0432 \text{ Kcal/hr °C m}$$

$$D_l = 0.4056 \text{ m}$$

$$h_a = 10.5 \text{ Kcal/hr m}^2 \text{ °C} \dots\dots\dots (6)$$

De la fórmula (20)

$$q = \frac{3.1416 (170-20)}{\frac{2.3}{2(0.432)} \log \frac{0.4056}{0.304} + \frac{1}{10.5(0.4056)}}$$

$$q = 132.06 \text{ Kcal/hr} = 103.64 \text{ Kcal/hr m}^2$$

Para saber si la suposición fue correcta se despeja - --

T_1 y debe coincidir con el valor supuesto.

De fórmula (21):

$$T_1 = - \frac{q (2.3 \log \frac{D_l}{D_s''})}{2 \pi K_C} + T_s$$

$$T_1 = \frac{132.06 (2.3 \log \frac{0.4056}{0.304})}{2 (3.1416) (0.0432)} + 170 = 29.87 \text{ °C}$$

$$T_1 \text{ calculada} = 29.87 \text{ °C}$$

$$T_1 \text{ supuesta} = 45 \text{ °C}$$

Se ve que no coinciden, por lo cual hay que suponer - --

otra T_1 .

Para $T_1 = 32 \text{ }^\circ\text{C}$

$K_C = 0.0430 \text{ Kcal/hr } ^\circ\text{C m}$

$h_a = 8.68 \text{ Kcal/hr m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$

De fórmula (20)

$$q = \frac{(170-20)}{\frac{2.3}{2 (0.0430)} \log \frac{0.4056}{0.304} + \frac{1}{8.68 (0.4056)}} =$$

$$q = 130.26 \text{ Kcal/hr} = 102.57 \text{ Kcal/hr m}^2$$

De fórmula (21)

$$T_1 = - \frac{130.26 (2.3 \log \frac{0.4056}{0.304})}{2(3.1416) (0.0430)} + 170 = 31.78 \text{ }^\circ\text{C}$$

T_1 calculada es aproximadamente igual que T_1 supuesta -- por lo cual la suposición de $32 \text{ }^\circ\text{C}$ es correcta.

A continuación se presenta una tabla (2) con los resultados de cálculos efectuados con 4 diferentes espesores de aislante.

| Espesor de Aislante (Pulgadas) | Espesor de Aislante (m) | Pérdidas de Calor Kcal/hr m ² | Temperatura en cara fría del Aislante (°C) |
|--------------------------------|-------------------------|--|--|
| 1 | 0.0254 | 205.24 | 40 |
| 1.5 | 0.0381 | 136.73 | 36 |
| 2 | 0.0508 | 102.60 | 32 |
| 3 | 0.0762 | 66.30 | 28 |

TABLA 2

En base a información del fabricante.- (3)

Se utilizaron las gráficas (1) y (2)

En la gráfica (1) se obtienen datos de conductividad utilizando la temperatura promedio entre la temperatura del Recipiente y la de la cara fría del aislante.

En la gráfica (2) obtenemos pérdidas de calor y temperatura de cara fría del aislante, teniendo como datos la temperatura del recipiente y el espesor del aislante.

Forma de utilizar la gráfica (2).- Para obtener las pérdidas de calor se va horizontalmente hasta la curva de espesores, y se baja verticalmente hasta la escala de pérdidas de calor.

Para obtener la temperatura de cara fría del aislante: - en el punto de intersección de la línea vertical de espesor de aislante y curva de referencia (temperatura de cara fría) se va horizontalmente hacia la escala de temperaturas de cara fría --

del aislante.

Utilizando esta información se calcularon pérdidas de -- calor y temperaturas de cara fría de aislante para diferentes - espesores, los cuales se enlistan en la tabla (3).

| Espesor de aislante (pulgadas) | Espesor de aislante (m) | Pérdidas de calor Kcal/hr m ² | Temperatura en cara fría del aislante (°C) |
|--------------------------------------|-------------------------------|--|--|
| 1 | 0.0254 | 217.09 | 51.7 |
| 1.5 | 0.0381 | 169.60 | 46.1 |
| 2 | 0.0508 | 135.70 | 43.3 |
| 3 | 0.0762 | 70.60 | 38.8 |

TABLA 3

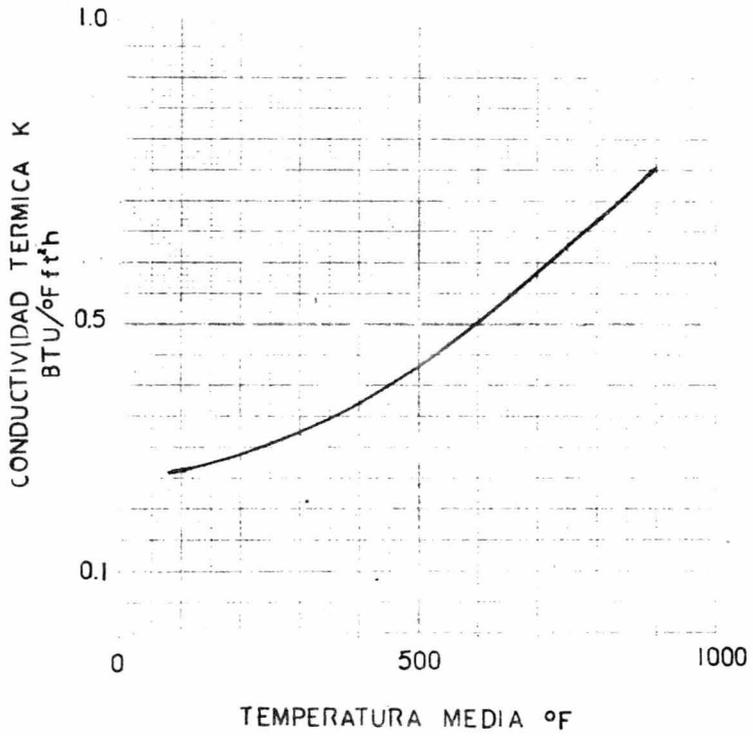
Conclusiones de aislante.

De los dos métodos de cálculo anteriores, se observa que siguen la misma tendencia sin haber mucha diferencia entre los resultados de ambos.

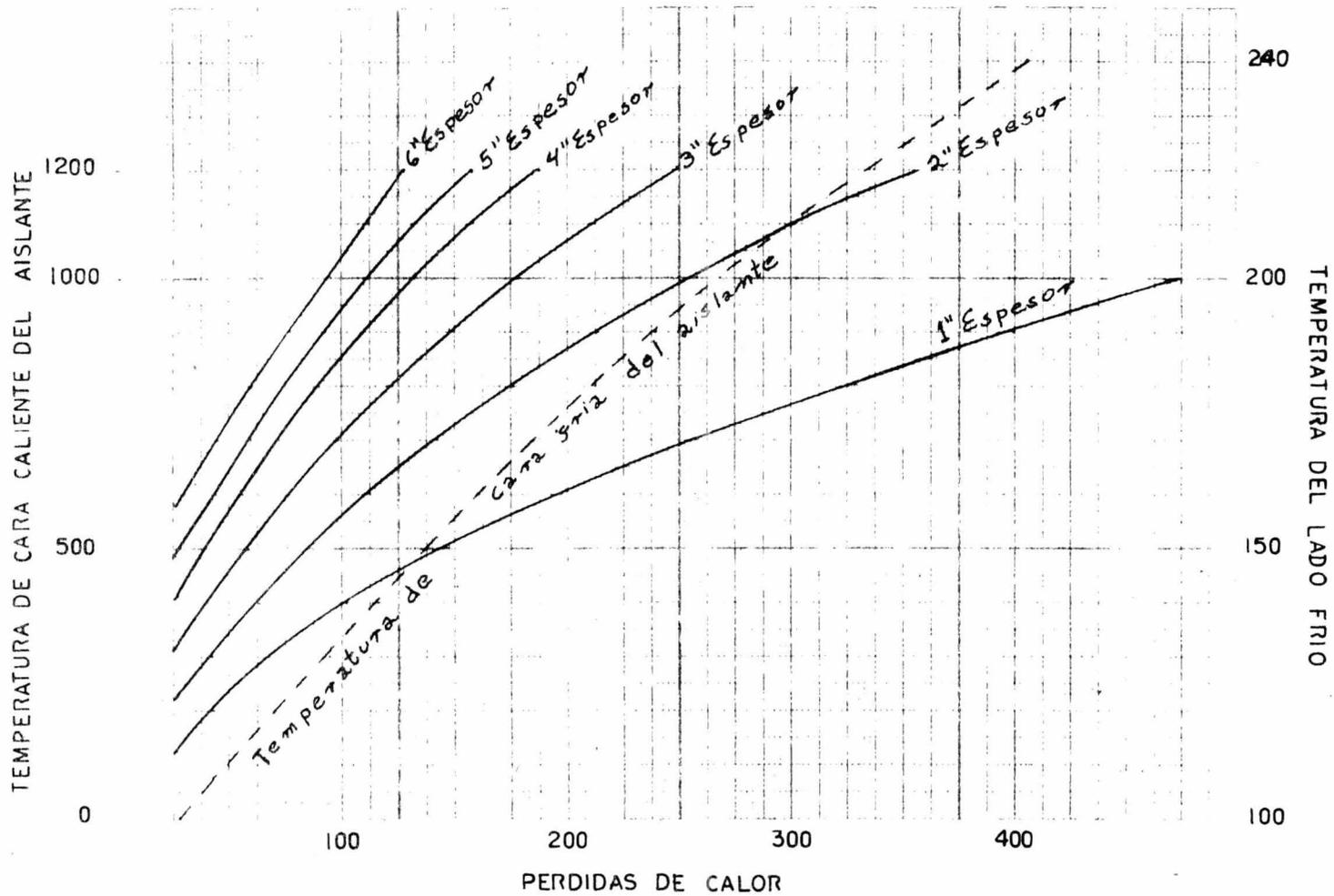
Consideremos los cálculos efectuados con datos del fabricante ya que son un poco más exactos por ser resultado de -- experiencias.

C).- Requerimientos de vapor

Como el digestor va a estar girando muy lentamente (1 -- rpm) se considerará que la transferencia de calor al aire se -- efectúa por convección natural.



GRAFICA No 1



GRAFICA No.2

El digestor estará todo aislado, con excepción de la tapa superior.

Las tapas se considerarán como superficies planas debido a que tienen un radio de curvatura bastante grande y no influye grandemente.

Pérdidas totales de calor durante el proceso.-

Pérdidas de calor a través de la superficie aislada:

$$\text{Superficie aislada} = 0.631 \text{ m}^2$$

Para temperatura de impregnación de 100 °C durante 1 hr.

De la gráfica (2)

$$q = 67.84 \text{ Kcal/hr m}^2$$

$$Q_1 = 67.84 \text{ Kcal/hr m}^2 \times 1 \text{ hr} \times 0.631 \text{ m}^2 = 42.81 \text{ Kcal}$$

$$Q_1 = 42.81 \text{ Kcal}$$

Para digestión a 170 °C durante 2 hrs.

De la gráfica (2)

$$q = 135.7 \text{ Kcal/hr m}^2$$

$$Q_2 = 135.7 \times 2 \times 0.631 = 171.23 \text{ Kcal}$$

$$Q_2 = 171.23 \text{ Kcal}$$

A través de la tapa sin aislar.

El coeficiente de película del aire puede ser determinado por medio de la ecuación (7):

$$h_v = h_o \times F_t \times F_p \dots\dots\dots (22)$$

Para placas verticales y convección natural.

Donde:

h_v = coeficiente de película Kcal/hr m^2 °C

h_0 = valor base del coeficiente de película Kcal/hr m^2 °C

F_t = factor de corrección de temperatura

F_p = factor de corrección de presión

Δt = (170 - 25) = 145 °C (260 °F)

h_0 = 6.59 Kcal/hr m^2 °C (1.35 BTU/hr pie^2 °F)

Para presión atmosférica $F_p = 1$

Temperatura promedio de la película

$$\frac{170 + 25}{2} = 97.5 \text{ °C}$$

$F_t = 0.94$

$h_v = 6.59 \text{ Kcal/hr } m^2 \text{ °C} \times 1 \times 0.94 = 6.19 \text{ Kcal/hr } m^2 \text{ °C}$

$h_v = 6.19 \text{ Kcal/hr } m^2 \text{ °C}$

Para placas horizontales tenemos la siguiente fórmula:

$$h_H = 1.27 h_v \dots\dots\dots (23)$$

Cuando tenemos que la superficie de transferencia de la placa está hacia arriba.

$$h'_H = 0.67 h_v \dots\dots\dots (24)$$

Cuando la superficie de transferencia está hacia abajo.

Donde:

h_H = coeficiente de película para placas horizontales

(Kcal/hr m² °C).

h_v = coeficiente de película para placas verticales obteniendo de la misma forma que para el caso anterior.

(Kcal/hr m² °C).

$$h_v = 6.19 \text{ Kcal/hr m}^2 \text{ °C}$$

$$h_H = 1.27 \times 6.19 = 7.86 \text{ Kcal/hr m}^2 \text{ °C}$$

$$h'_H = 0.67 \times 6.19 = 4.15 \text{ Kcal/hr m}^2 \text{ °C}$$

Se consideró un promedio de los coeficientes de película para las diferentes posiciones de la superficie sin aislar (tapa superior). En cada revolución habrá dos posiciones verticales y dos horizontales. Las dos posiciones verticales presentan una transferencia de calor similar. Debido a su posición -- las dos horizontales difieren en que en una, la superficie de transferencia se encuentra hacia arriba y en la otra hacia abajo.

$$\bar{h} = \frac{2h_v + h_H + h'_H}{4} \dots\dots\dots (25)$$

$$\bar{h} = \frac{2(6.19) + 7.86 + 4.15}{4} = 6.10 \text{ Kcal/hr m}^2 \text{ °C}$$

coeficiente de películas promedio (\bar{h}) = 6.10 Kcal/hr m² °C

Con esta \bar{h} podemos calcular las pérdidas de calor por -- convención que tendremos a través de la tapa no aislada. La ta pa inferior debido a que esta aislada se ve despreciablemente -- afectada por estas variaciones de posición y se consideró junto

con la sección cilíndrica.

$$q = \bar{h} A (\Delta t) \dots\dots\dots (26)$$

Donde:

q = pérdida de calor a través de la tapa no aislada

\bar{h} = Coeficiente de película promedio (relativo a la variación de posición).

Δt = diferencia de temperaturas (entre la de la placa y la del aire ambiente).

A = Superficie de la tapa no aislada = 0.0706 m^2

Para temperatura de digestión de $170 \text{ }^\circ\text{C}$

$$q = 6.10 \text{ Kcal/hr m}^2 \text{ }^\circ\text{C} \times 0.0706 \text{ m}^2 \times (170 - 25) \text{ }^\circ\text{C} =$$

$$q = 62.45 \text{ Kcal/hr}$$

Para un tiempo de digestión de 2 hrs.

$$Q_3 = 62.45 \text{ Kcal/hr} \times 2 \text{ hrs} = 124.9 \text{ Kcal}$$

$$Q_3 = 124.90 \text{ Kcal}$$

Para temperatura de impregnación de 1 hr

$$Q_4 = 32.3 \text{ Kcal/hr} \times 1 \text{ hr} = 32.3 \text{ Kcal}$$

$$Q_4 = 32.3 \text{ Kcal}$$

Entonces las pérdidas totales de calor (Q') durante el proceso serán:

$$Q' = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \dots\dots\dots (27)$$

$$Q' = 42.81 + 171.23 + 124.90 + 32.3 = 371.24 \text{ Kcal}$$

$$Q' = 371.24 \text{ Kcal}$$



Vapor para calentamiento de la mezcla.-

Datos:

Presión de trabajo = $P_t = 7.0 \text{ Kg/cm}^2$

Volumen de mezcla = $V_m = 30 \text{ l}$

Volumen del reactor = $V_R = 45 \text{ l}$

Espacio vacío mínimo = $E_v = 10\%$

Relación de baño inicial = $3.5 - 1$

Densidad de madera $\rho_m = 310 \text{ Kg/m}^3$ (base seca a la estufa).

Densidad de licor blanco = $\rho_{lb} = 1.08 \text{ Kg/l}$

Densidad de licor negro = $\rho_{ln} = 1.09 \text{ Kg/l}$

Sulfidez = 25%

Calor específico del licor = $C_{p1} = 0.91 \text{ Kcal /kg } ^\circ\text{C}$

Calor específico de la madera = $C_{pm} = 0.33 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C}$

Condiciones de vapor

Saturado

Presión = $P_v = 10 \text{ Kg/cm}^2$

Temperatura = $T_v = 183 \text{ } ^\circ\text{C}$

Calor latente de evaporación = $\lambda = 478 \text{ Kcal/Kg}$

Volumen específico de vapor = $V_{sp} = 0.1811 \text{ m}^3/\text{Kg}$

Tiempo para llegar a temperatura de digestión = $7 \text{ a } 8 \text{ min.}$

Temperatura de impregnación = $100 \text{ } ^\circ\text{C}$

Temperatura de digestión = $170 \text{ } ^\circ\text{C}$

Tiempo de impregnación = 1 hr

Tiempo de digestión = 2 hrs

Determinación de cantidad de madera y licores necesarios para un volumen de mezcla de 30 l y una relación de baño de - - 3.5 a 1.

$$V_M = V_1 + V_m \quad \dots\dots\dots (28)$$

$$V_M = 3.5 \times \frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_m} \quad \dots\dots\dots (29)$$

$$X = \frac{V_m}{\frac{3.5}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_m}} \quad \dots\dots\dots (30)$$

$$X = \frac{30}{\frac{3.5}{1.08} + \frac{1}{0.31}} = 4.64$$

$$X = 4.64$$

Por lo tanto el volumen de licor:

$$V_1 = 3.5 \times 4.64 \times \frac{1}{1.08} = 15.03 \text{ l}$$

y el volumen de la madera es:

$$V_m = 1 \times 4.64 \times \frac{1}{0.31} = 14.97 \text{ l}$$

$$V_M = 15.03 + 14.97 = 30.0 \text{ l}$$

Masa de licor blanco:

$$M_1 = 15.03 \times 1.08 = 16.23 \text{ Kg}$$

Masa de madera:

$$M_m = 14.97 \times 0.31 = 4.64 \text{ Kg}$$

calor sensible de evaporación en base a la unidad.

Por lo tanto el calor total $\frac{Q_T}{m}$ es:

$$\frac{Q_T}{m} = \frac{Q_L}{m} + \frac{Q_S}{m} = 478 + 13 = 491 \text{ Kcal/Kg} \dots\dots\dots (34)$$

$$\frac{Q_T}{m} = 491 \text{ Kcal/Kg}$$

Calor necesario para llevar la mezcla a temperatura de -
digestión.

Se considerará que la mezcla se llevará primeramente has
ta temperatura de digestión que ya es la condición más drástica,
aún cuando durante el proceso se lleve primero a temperatura --
de impregnación.

$$Q = m_M C_{pM} \Delta T \dots\dots\dots (35)$$

$$Q = 20.87 \text{ Kg} \times 0.78 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C} \times (170 - 25) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 2360.4 \text{ Kcal}$$

Por lo tanto el vapor necesario para calentamiento será:

$$m_V = \frac{Q}{\frac{Q_T}{m}} = \dots\dots\dots (36)$$

$$m_V = \frac{2360.4 \text{ Kcal}}{491 \text{ Kcal/Kg}} = 4.81 \text{ Kg}$$

$$m_V = 4.81 \text{ Kg}$$

y el vapor necesario para compensar pérdidas de calor es:

$$m'_V = \frac{Q'}{\frac{Q_T}{m}} = \dots\dots\dots (37)$$

$$m'_V = \frac{371.24 \text{ Kcal}}{491 \text{ Kcal/kg}} = 0.76 \text{ Kg}$$

$$m'_V = 0.76 \text{ Kg}$$

El vapor necesario para todo el proceso es:

$$m_{Vt} = m_V + m'_V \dots\dots\dots (38)$$

$$m_{Vt} = 4.81 + 0.76 = 5.57 \text{ Kg}$$

La masa total dentro del digestor al finalizar el proceso es:

$$20.87 + 5.57 = 26.44 \text{ Kg}$$

Y el volumen total de mezcla es:

30 + 5.57 = 35.57 l (considerando la densidad del condensado como de 1 g/cm³)

Por lo tanto el espacio vacío para esta operación es:

$$100 - \frac{35.57}{45} \times 100 = 20.82\%$$

Lo cual cumple con el requisito de un espacio vacío mínimo de 10%

La capacidad máxima de mezcla a procesar será de 34 l - lo cual nos da un espacio vacío de 10.44% con un requerimiento de vapor de 6.30 Kg. a las mismas condiciones.

D).- Cálculo de la Tubería de Descarga

Para conocer la velocidad de descarga del director, se hace un balance de energía (Bernoulli), considerando hasta el

tanque de descarga. Despreciamos las pérdidas por fricción en la línea de descarga ya que es un tramo muy corto. La diferencia de altura se desprecia ya que es mínima. (8)

$$E_C + V\Delta P + \Delta Z \frac{g}{g_C} + F = 0 \dots\dots\dots (39)$$

Donde:

ΔE_C = cambio de energía cinética

V = volumen de fluido

ΔZ = Diferencia de altura

$\frac{g}{g_C}$ = factor de corrección

ΣF = pérdidas por fricción

v = velocidad del fluido

α = factor de corrección a la energía cinética

ρ = densidad del fluido

Suprimiendo los términos que no se van a considerar

$$\Delta E_C + V P = 0 \dots\dots\dots (40)$$

$$\Delta E_C = - V P \dots\dots\dots (41)$$

$$\Delta E_C = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \alpha g_C} \dots\dots\dots (42)$$

$$V\Delta P = \frac{\Delta P}{\rho} \dots\dots\dots (43)$$

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2 g_C} = - \frac{\Delta P}{\rho} \dots\dots\dots (44)$$

$$v_1 = 0$$

$\alpha = 1$ suposición para velocidad alta (flujo turbulento)

$P_2 =$ presión atmosférica = 585 mm Hg (Ciudad de México)

$P_1 = 7$ Kg/cm² manométrica

$$g_c = 9.81 \text{ Kg m/Kg seg}^2$$

De la fórmula (44) despejando tenemos:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 g_c \alpha P}{\rho}}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \times 9.81 \times 7}{910}} = 0.39 \text{ m/seg.}$$

$$v_2 = 0.39 \text{ m/seg}$$

Como la velocidad es alta (flujo turbulento) podemos considerar que el supuesto está correcto.

En la tabla (4) se presentan los cálculos efectuados con diferentes diámetros de tubo, manteniéndose la Velocidad constante.

Se usaron las siguientes fórmulas en la elaboración de la tabla (4).

$$G = VA \dots\dots\dots (45)$$

$$\phi = \frac{V}{G} \dots\dots\dots (46)$$

Donde:

$G =$ Flujo de fluido

$v =$ velocidad del fluido

A = área transversal del tubo

V = volumen del digestor

θ = tiempo de vaciado del digestor

TABLA 4

| Diámetro nominal (in) | Area transversal (m ²) | Velocidad fluido (m/seg) | Flujo de fluido (m ³ /seg) | Tiempo de descarga (seg) |
|-----------------------|------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| 1 | 0.000557 | 0.39 | 0.000217 | 138.25 |
| 1.5 | 0.001314 | 0.39 | 0.000512 | 58.59 |
| 2 | 0.002165 | 0.39 | 0.000844 | 35.55 |
| 2.5 | 0.003087 | 0.39 | 0.001204 | 24.90 |
| 3 | 0.00477 | 0.39 | 0.001860 | 16.13 |
| 4 | 0.00821 | 0.39 | 0.003202 | 9.37 |
| 5 | 0.01291 | 0.39 | 0.005035 | 5.96 |

Se selecciona un tubo de 6.35 cm (2.5 in) de diámetro, el cual nos proporciona un área transversal adecuada - - para evitar un posible taponamiento por la fibra, y también nos proporciona un buen tiempo de descarga.

E).- Accesorios

Los accesorios que lleva el digestor son:

Registrador Controlador de Temperatura

Valvula de seguridad

Distribuidor de vapor

Registrador controlador de temperatura.-

Consta de:

Elemento sensor

Termógrafo

Válvula de control

El termógrafo registra como temperatura la señal captada del elemento sensor y manda una señal eléctrica de apertura o -- cierre a la válvula de control.

El elemento sensor es un bulbo de acero inoxidable con - mercurio en su interior. Manda la señal al termógrafo por medio de un capilar de acero, donde corre el mercurio por dilatación.

La válvula de control es accionada eléctricamente. Para nuestro digestor es recomendable utilizar válvula de dos posi-- ciones (completamente abierta o completamente cerrada), que --- abre o cierra a una cierta variación de temperatura, ya que la válvula de posición variable nunca llega a cerrar completamente (no tiene cierre hermético), lo cual implica mayores riesgos -- ya que siempre existiera un flujo de vapor y puede haber sobre-- calentamiento.

El elemento sensor estará colocado dentro de un termopozo hecho en el cuerpo del digestor, exactamente en el eje de -- giro, para evitar que el sensor gire también. Debe colocarse -- una capa de grafito entre el elemento sensor y el termopozo ---

para que exista lubricación y no haya sobrecalentamiento por -- fricción, contribuyendo además a una mejor transmisión del ca-- lor.

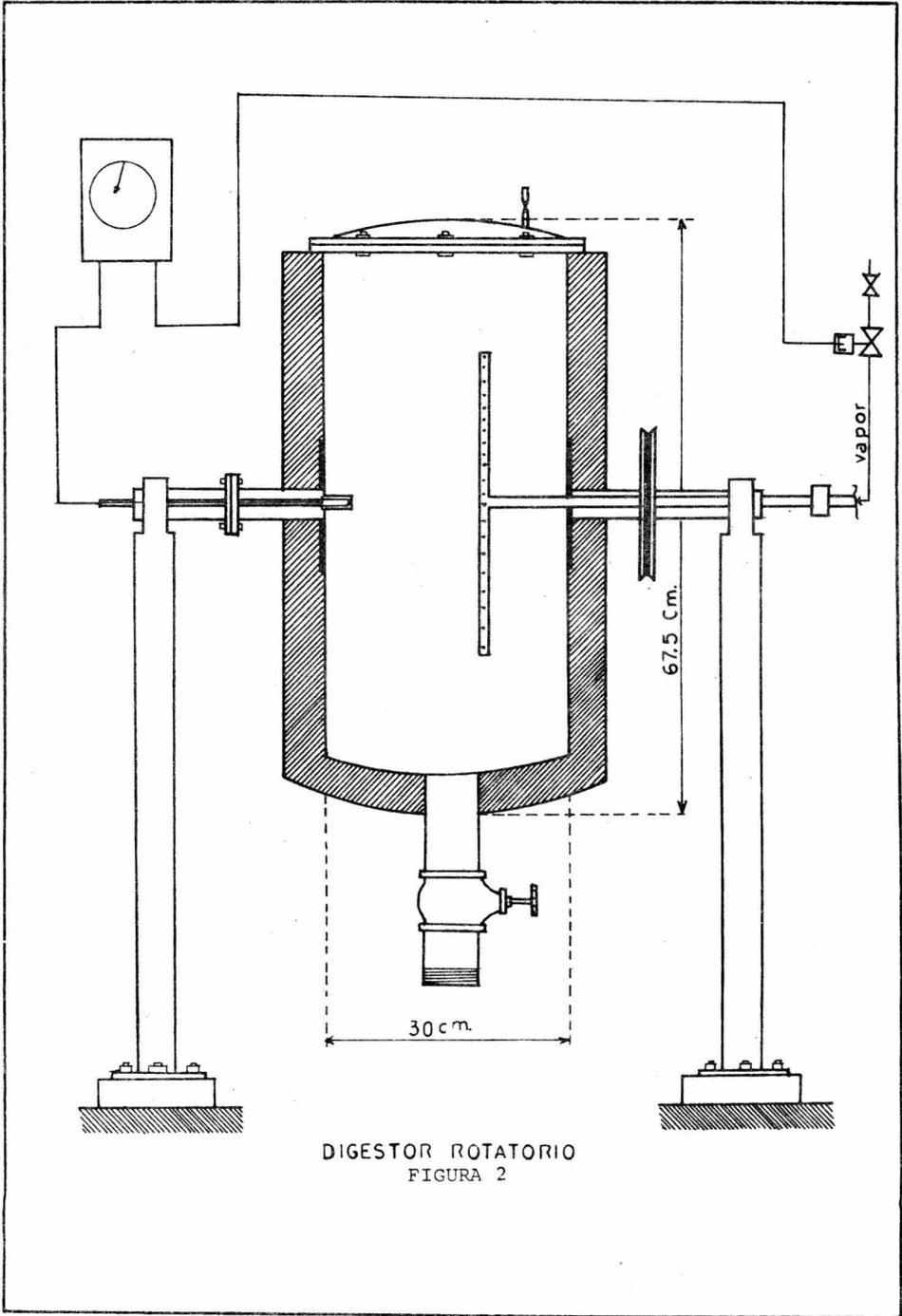
El sensor quedará fijo por medio de un tubo colocado en el eje de giro, y este tubo estará soportado por una varilla -- soldada a la vigueta soporte del digestor. El capilar estará -- colocado dentro del tubo. Ver figura (2) y (3)

Válvula de Seguridad.-

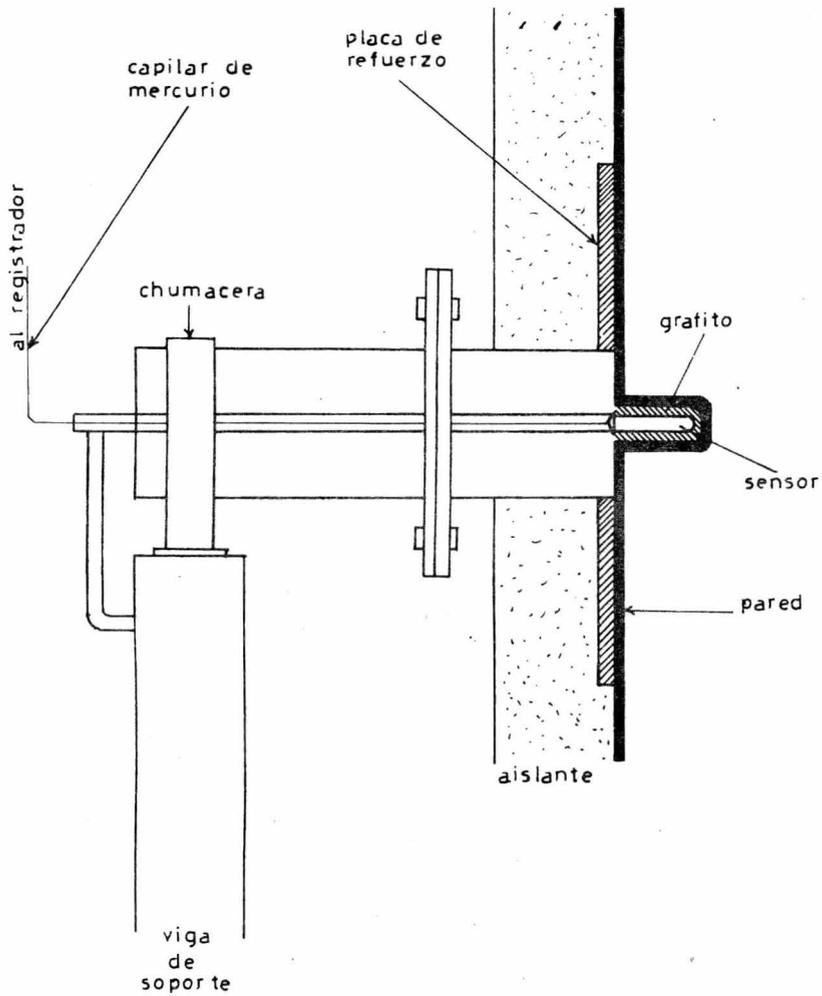
La*válvula de seguridad será de las de resorte, calibra-- da para abrir a 9.5 Kg/cm^2 . Estará colocada cerca de la orilla-- de la tapa con el fin de que esté el menor tiempo posible en -- contacto con el líquido, ya que el digestor estará girando.

Distribuidor de vapor.-

Será un tubo vertical de acero inoxidable del mismo diá-- metro de la tubería de vapor, con perforaciones en su superfi-- cie. Estará colocado más cercano a la pared opuesta a la del -- termopozo ($1/3$ del diámetro) para evitar lecturas no representa-- tivas de la mezcla. Ver figura (2).



DIGESTOR ROTATORIO
FIGURA 2



DETALLE DEL SENSOR
 FIGURA 3

3.- EQUIPOS Y LINEAS SECUNDARIAS

A.- Tanque de descarga y "soplado"

Seguendo las especificaciones encontradas en la literatura (2), de forma y capacidad para tanques de descarga, se hizo un escalamiento para la capacidad requerida de acuerdo al volumen del digestor.

La literatura y datos experimentales de LANFI (13), recomiendan que el volumen del tanque de descarga sea de 2 a 4 veces el volumen del digestor, esto con el fin de poder recibir sin problemas más de una carga del digestor. Se requiere aproximadamente un 15 % de espacio vacío para asegurar una buena operación "Ciclón" de toda la carga del digestor.

Descripción de las secciones del tanque de descarga. Ver Figura (4).

1.- Sección receptora del soplado

En esta parte se recibe la descarga del digestor. La entrada de la pulpa es tangencial para que adquiera un movimiento giratorio, que ayude a desfibrar la pulpa. La entrada al tanque se hará con tubería de 2 pulgadas.

2.- Cono de unión.

Une el cuerpo principal con el cilindro receptor.

3.- Cuerpo principal

Almacena la mayor parte de la carga y soporta al tamiz de filtración.

4.- Cono de descarga.

Facilita el vaciado del tanque.

La unión entre el cuerpo principal y el cono de descarga será roscada, con la rosca hembra en el cono y la rosca macho en el cuerpo principal, para evitar fugas o escurrimientos de líquido. Se puede hacer también con una pestaña y pernos. No es necesario que sea brida, ya que no tendrá que resistir presiones.

Se recomienda en la literatura (2) para tanques de descarga de tamaño industrial espesores de coraza entre 1/2 y 3/4. Para el tamaño de nuestro tanque de descarga, un espesor de 1/8 de pulgada es suficiente, para asegurar resistencia a las vibraciones y a la reacción "Jet" y a la corrosión.

Para disminuir los efectos de la corrosión es conveniente aplicarle un recubrimiento con pintura anticorrosiva interior y exteriormente.

Accesorios del Tanque de descarga.-

Regadera

Filtro (Cedazo Giratorio)

Orificio de venteo de gases

Válvula de descarga

Regadera.- Será de la del tipo de los baños caseros, que nos de un área de mojado suficiente para cubrir el Tamiz. Estará colocada en el cono de unión. Debe de tener un diámetro de modo-

que no obstaculice la caída de la pulpa.

Filtro.- Ver figura (5). Consiste de un cedazo montado sobre un aro de acero, y reforzado con dos varillas en forma de cruz.

El aro estará soportado por las paredes del tanque, de tal manera que los ejes salgan por lados del tanque para que pueda ser accionado desde el exterior. En los ejes debe de llevar volantes, y estoperos en la unión del eje con la pared para evitar fugas.

Entre el marco y la pared del recipiente debe de quedar un espacio libre de 0.3 cm. para permitir que gire sin dificultad. El plano horizontal del tamiz debe de estar a una distancia de 10 cm. del extremo interior de la sección recta, para que gire sin rozar la pared del cono y que haya un espacio libre suficiente para que no se atore con la pulpa al girar el tamiz.

Orificio de venteo de gases.- El tubo que llevará sera de 1.5 pulgadas para asegurar que habrá un buen venteo y no sobrepresione el tanque.

Válvula de descarga.- Se selecciono una válvula de maripos de 3 pulgadas, por su bajo costo en comparación con las válvulas de compuerta, facilidad de limpieza y la poca obstrucción que presenta al paso de materiales sólidos.

B).- Línea de soplado

La línea de soplado será una manguera de 2.5 pulgadas especial para manejar vapor. Flexible para que pueda absorber las vibraciones y la reacción "Jet" que se producen durante el soplado. Será del mismo diámetro de la descarga del digestor y llevará una reducción en uno de los extremos para que pueda ser conectada al tanque de descarga.

C).- Motor y transmisión

Para el cálculo de la potencia es necesario conocer el peso total del digestor cargado.

| | |
|--|-------|
| Peso aproximado del recipiente | 12 kg |
| Peso aproximado del aislante | 7 kg. |
| Peso aproximado de accesorios y soportes | 10 kg |
| Peso de la mezcla más condensados | 30 kg |

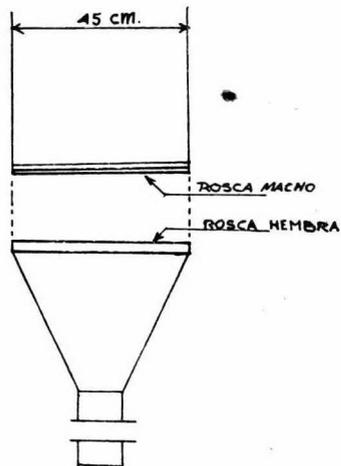
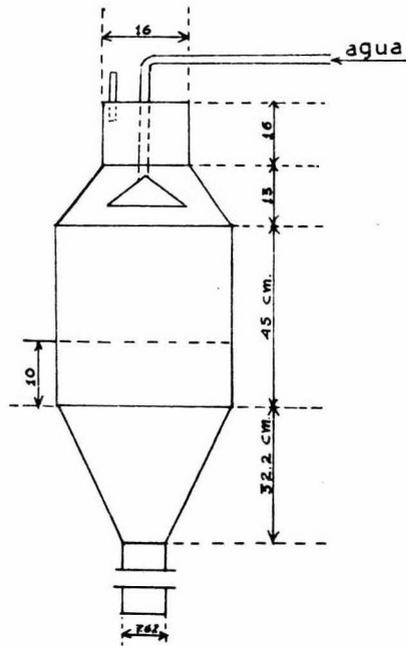
Peso total = 12 + 7 + 10 + 30 = 59 kg

Para la cantidad máxima de pulpa que se puede procesar.

Se consideraran 60 kg para el cálculo del motor.

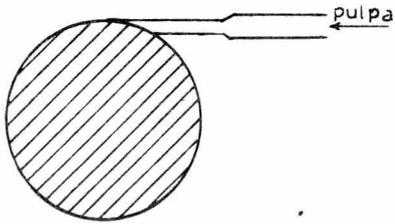
Como la velocidad angular es constante (Irpm) podemos considerar que la fuerza que actúa es un par que ofrece resistencia al movimiento y para lo cual se utiliza la siguiente fórmula (9)

$$P = \frac{T W}{75} \dots\dots\dots (47)$$

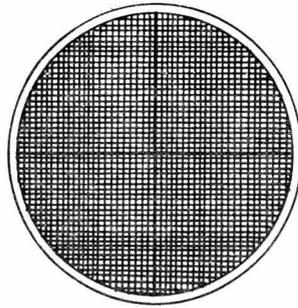


TANQUE DE DESCARGA

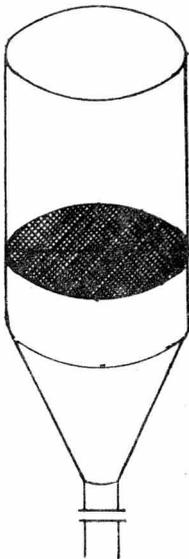
FIGURA 4



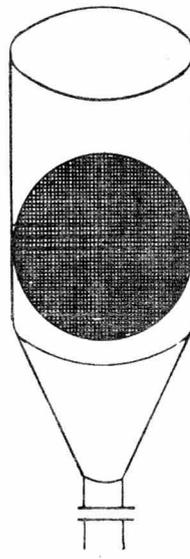
ENTRADA TANGENCIAL



TAMIZ GIRATORIO



POSICION DE FILTRADO



POSICION DE DESCARGA

Donde:

P = Potencia (HP)

T - momento angular (Kg-m)

W = Velocidad angular (Rad/seg)

Cada una de las fuerzas tienen su punto de aplicación en cada extremo del digestor por lo tanto el momento es:

$$T = F \times d \dots\dots\dots (48)$$

Donde:

F = fuerza (Kg)

d = distancia (m)

Como el digestor se encuentra soportado por un eje central, el valor de la fuerza en cada extremo es igual a la mitad del peso del digestor.

La distancia es del centro al punto de aplicación de la fuerza.

$$F = 30 \text{ Kg}$$

$$d = 0.34 \text{ m}$$

De fórmula (48) sustituyendo valores:

$$T = (30 \times 0.34) - (-30) (0.34) = 20.4 \text{ Kg. m.}$$

$$T = 20.4 \text{ Kg m.}$$

La velocidad angular $W = 1 \text{ rpm} = 0.1047 \text{ Rad/seg}$

Sustituyendo en la fórmula (47) tenemos:

$$P = \frac{0.03}{0.7} = 0.04 \text{ HP}$$

Potencia necesaria para mantener la velocidad de Irpm sin considerar las pérdidas por fricción.

Vemos que el valor es muy bajo; por lo tanto como el motor comercial para estos fines, de menor potencia es de 1/4 de HP, usando este aseguramos la potencia total necesaria para empezar a mover y mantener en movimiento el digestor, incluyendo pérdidas por fricción.

Transmisión.-

La reducción de velocidad se hará por medio de un juego de poleas; considerando un motor de 1400 rpm, y la velocidad requerida para la rotación del digestor es de 1 rpm con 4 poleas de 30 cm de diámetro y 6 de 5 cm de diámetro se consigue esta velocidad reducida.

4).- Resumen de Resultados

Capacidad Maxima de Trabajo: 34 litros

Requerimientos de Vapor a Capacidad Maxima Durante todo el proceso: 6.30 kg.

Presión Maxima: 11.44 Kg/cm²

Temperatura Maxima a Presión Maxima: 180°C

Temperatura Maxima sin Presión, Limitada por el Aislante:
650°C

Tiempo de Calentamiento hasta 170°C: 7 minutos

Perdidas de calor a 170°C: 135.7 Kcal/h m²

Sistema de Control: Automatico, con registro de temperatu
ras.

Caracteristicas del Digestor: Rotatorio, con tapas forma--
das, construido completamente de acero inoxidable y aislado

Condiciones de Seguridad: . Valvula de relevo, temperatura
exterior de 44°C.

Carga: Manual, quitando la tapa superior, que es brindada.

Descarga: 17 segundos, Valvula operada manualmente. A un-
"Tanque de Descarga" con entrada tangencial y lavador de pulpa -
integrado.

IV).- ESTUDIO ECONOMICO

A).- Lista de Materiales

B).- Costos

C).- Localización

IV).- ESTUDIO ECONOMICO

A).- Lista de Materiales

Digestor

Tubería de acero inoxidable de 3/8".

Aislante de Asbesto.

Placa de acero inoxidable de 3/16".

Válvula de seguridad de 3/8". Tipo de Resorte calibrada a
9.5 Kg/cm².

Válvula de Compuerta de 2.5" de bronce.

Junta Rotatoria.

Sistema de control automático: Termógrafo sensor

Válvula automática (operada eléctricamente)

2 chumaceras de 2"

2 viguetas tipo "1" de 1 m c/u

1 m de tubo común de 2"

Tornillos y pernos

Equipo y Líneas Secundarias

Placa de acero al carbón de 1/8".

Válvula de Mariposa de 3".

Malla de acero (malla 100), con soporte eje y manivela.

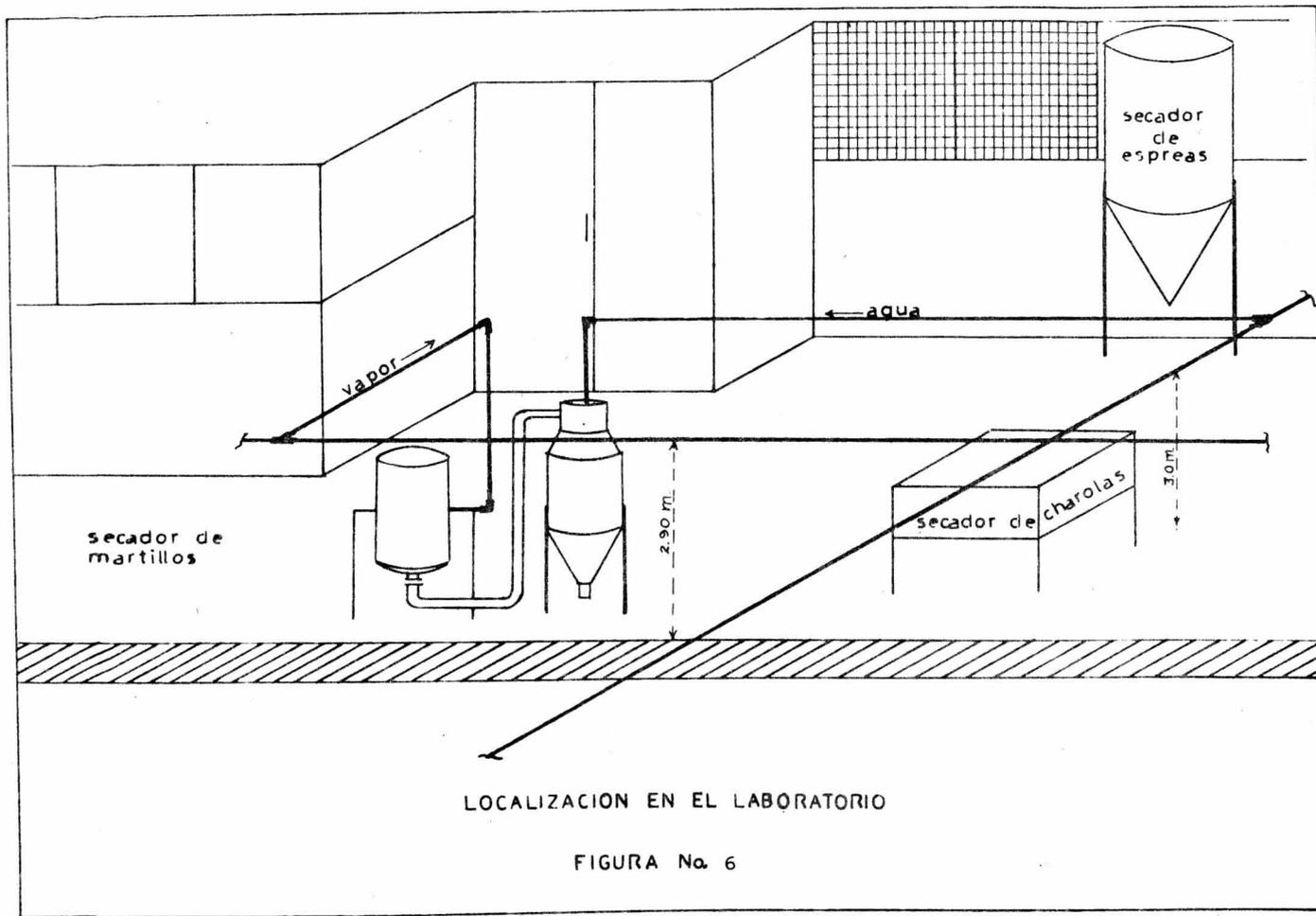
Regadera.

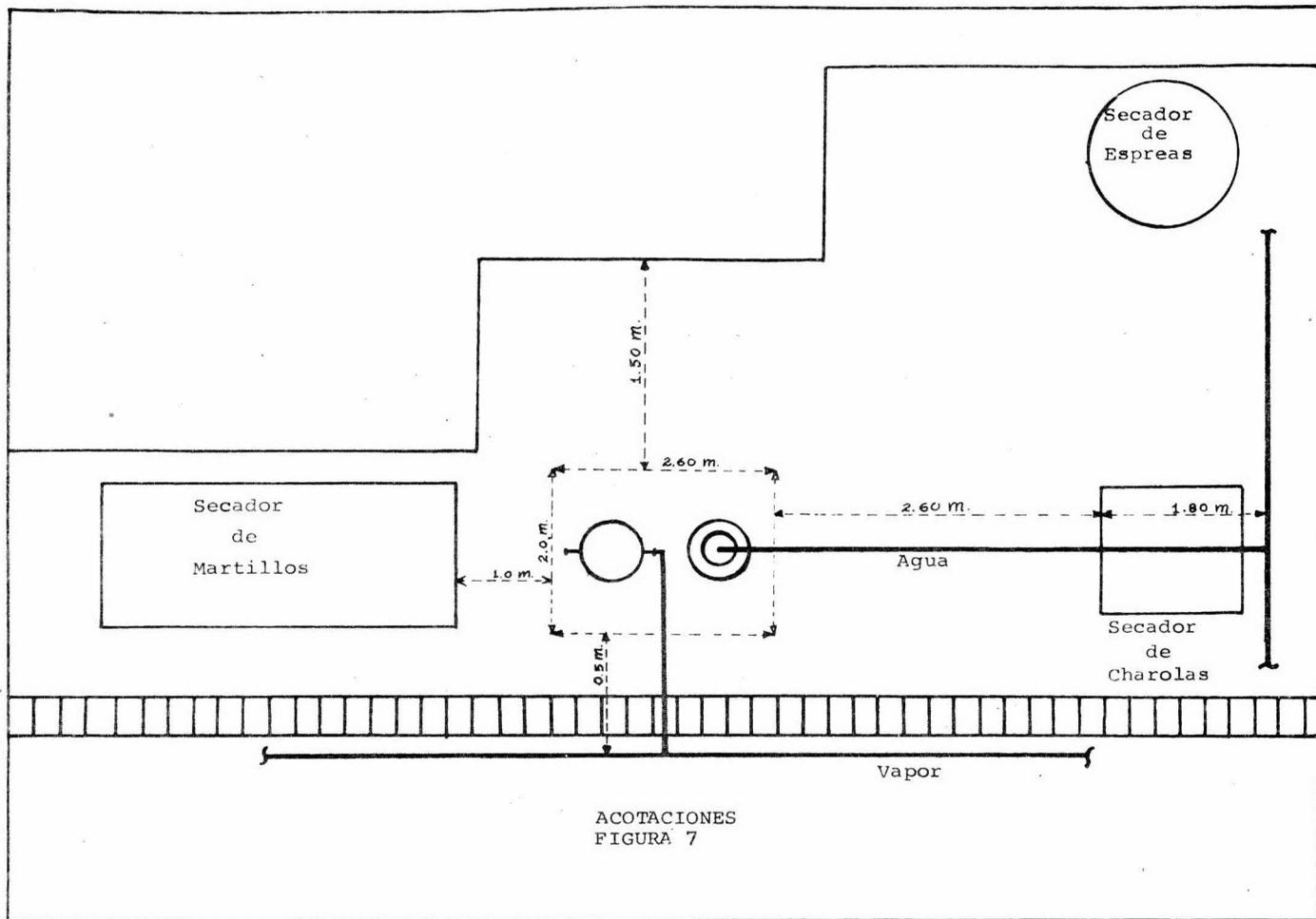
Tubería de acero al carbón de 3/8" y 1".

Válvulas de Globo de 3/8" y 1".

C).- Localización

Esta localización, en el Laboratorio de Ingeniería Química, se hizo tomando en cuenta las áreas disponibles para instalación de nuevos equipos, y tratando de localizarlos lo más cerca-posible de las líneas de agua y vapor y drenaje, tratando de con-servar la alineación de los demás equipos. Ver Figura (6) y (7).





ACOTACIONES
 FIGURA 7

V).- ANALISIS DE LOS CAPITULOS III Y IV

Para el diseño del digestor se tomaron en cuenta datos -- teóricos de literatura y datos prácticos proporcionados por fabricantes, además se hicieron consideraciones de diferentes tipos para abreviar un poco los cálculos, sin que hubiera errores apreciables en los resultados obtenidos.

Se trato de utilizar los materiales más adecuados, tanto por sus características físicas como económicas, tomando en cuenta que la construcción de este equipo será sometido a juicio de autoridades universitarias, para su aprobación en cuanto a su fi nanciamiento por parte de ellas.

El sistema de control que se propuso es de costo muy elevado en comparación con el resto del equipo, pero se trata de -- dar a las diferentes prácticas que se realizen, un carácter repe titivo, lo cual se logra estando bajo condiciones rigurosamente controladas. Además es interesante que se cuenten con este tipo de equipos de control, ya que son los que se usan en las indus-- trias, y son los que los alumnos encontrarán al egresar.

Se trato de dar al equipo una seguridad adecuada para evi tar accidentes durante su manejo.

Hasta

VI).- CONCLUSIONES

Para poder cumplir con los objetivos propuestos, en el desarrollo de esta tesis, es necesario, llevar a cabo la construcción del equipo diseñado y calculado en el presente trabajo, para lo cual se debe contar con un financiamiento. Esta construcción es recomendable que se lleve a cabo por alumnos próximos a egresar de la Escuela y estén interesados en cumplir con su servicio social y a la vez aportar un beneficio a la Facultad.

VII).- BIBLIOGRAFIA

- 1).- CIENCIA Y TECNOLOGIA SOBRE PULPA Y PAPEL, Vol. I C. Earl Libby.
- 2).- PULP AND PAPER MANUFACTURE THE PULPING OF WOOD J. M. - Swartz.
- 3).- POLETINES TECNICOS DE:
Materiales Aislantes S.A.
Vitro Fibras S.A.
Enterprise S.A.
Aislamex S.A.
- 4).- ASME UNFIRED PRESSURE VESSEL
UA-6 Div. VIII
- 5).- PROCESS EQUIPMENT DESION
Brownell and Young
- 6).- PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR
Donald Q. Kern
- 7).- PRINCIPALES OF HEAT TRANMISION
J. Stoever
- 8).- PRINCIPIOS DE OPERACIONES UNITARIAS
A. S. Foust
- 9).- MECANICA ANALITICA PARA INGENIEROS
Seely & Ensign
- 10).-MANUAL DE NOMOGRAMAS Vol. 14
Hydrocarbon Procesing
- 11).-DISEÑO Y CALCULO DE RECIPIENTE A PRESION
Ingeniería Panamericana S.A.
- 12).-MANUAL DE ACEROS MONTERREY S.A.
- 13).-INFORMACION INTERNA DE LANFI