UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Tesis de grado

de

Ricardo A. Orozco S.

Junio 29-1959

TESIS DE GRADO DE RICARDO A. OROZCO SABORIO PARA LA OBTENCION DE LA LICENCIATURA EN CIENCIAS Y LETRAS, EN EL DEPARTAMENTO DE QUIMICA DE LA - UNIVERSIDAD DE COSTA RICA.

DISEÑO Y CALCULO DE UN LABORATORIO DE PROCESOS Y OPERACIONES EN QUIMICA INDUSTRIAL.

MUY RESPETUOSAMENTE DEDICO ESTA TESIS

A TODOS MIS PROFESORES QUE HICIERON -

POSIBLE MI GRADUACION.

RICARDO A. OROZCO SABORIO

SAN JOSE, COSTA RICA A 29 DE JUNIO DE 1959

CONTENIDO

1° Introducción

Descripción del equipo necesario para un laboratorio de procesos y operaciones en Química Industrial adaptado a nuestro medio.

2° Cálculo, diseño y especificaciones del equipo que puede ser construído en Costa Rica.

3° Especificaciones del equipo que debe pedirse al extranjero.

4° Planos a escala del montaje de equipo en conjunto.

5° Planos de las necesidades eléctricas, de fluídos y de los aparatos para extraer gases y renovar el aire dentro del laboratorio.

6° Especificaciones para el montaje del equipo y de las instalaciones eléctricas y de fluídos.

INTRODUCCION

DESCRIPCION DEL EQUIPO NECESARIO PARA UN LABORATORIO DE PROCESOS Y OPERACIONES EN QUIMICA INDUSTRIAL

El laboratorio que este trabajo describe, para el Departamento de Química de la Facultad de Ciencias y Letras de la Universidad de Costa Rica, servirá para las prácticas de Tecnología Química I, Tecnología Química II, Química Industrial I, Química Industrial II, - Bioquímica Industrial y otros cursos similares que se ofrezcan.

El laboratorio puede completarse en el futuro con mayor cantidad de equipo, para ofrecer las prácticas de la proyectada carrera de Ingeniería Química.

Este laboratorio es un ejemplo de una planta piloto múltiple. Así los aparatos pueden interconectarse por medio de tuberías tipo pudiendo imitarse algunas de las industrias que actualmente hay en el país, o algunas que se instalen en el futuro.

El alumno que use este laboratorio, no se encontrará desorientado cuando principie a trabajar en las industrias nacionales, pues tendrá nociones del manejo de casi todos los aparatos que pueda encontrar y estará bien compenetrado del funcionamiento y organiza - ción de una fábrica.

Se estima que en el laboratorio se podría organizar un programa de prácticas de los diferentes cursos teniendo capacidad en un - determinado momento para 30 alumnos.

El equipo descrito aquí está relacionado entre sí, o sea que, los tamaños, las capacidades, diámetros, etc. del equipo, pertenecen a una determinada organización que se describe seguidamente.

Descripción de la organización

Se consideran los reactores como punto de partida debido a que casi ninguna de las industrias químicas puede operar sin éstos.

Se necesitan dos reactores de trescientos litros de capacidad cada uno, dos reactores de ciento cincuenta litros de capacidad cada uno y doce reactores de sesenta litros de capacidad cada uno.

Los reactores más grandes se utilizarán para hacer operaciones colectivas en gran escala y los pequeños para las prácticas individuales.

Los reactores grandes pueden servir para muchas industrias tales como fermentaciones de levadura y alcoholicas, para cierta clase de nitraciones, animaciones, reducciones, oxidaciones, polimerizaciones, producción de jabones, detergentes, etc.

Para todas las operaciones se pueden combinar los cuatro reactores, para alta o baja temperatura según las necesidades, haciendo las conexiones necesarias.

El filtro prensa está calculado en relación con la capacidad - de los cuatro reactores, tales como hidrogenación de grasas, extracción de aceites por molienda, extracción de líquidos, recuperación - de productos fermentados, recoger tortas, etc.

Las centrífugas se usarán también en combinación con operacio - nes llevadas a cabo en los reactores. Se describen dos tipos de centrífugas, una continua que se usa para concentración de sólidos, separación de emulsiones, etc. y otra de canasta usada en la purifica-

ción y recuperación de todo tipo de cristales y otras operaciones similares.

El evaporador múltiple, está calculado en relación con la capacidad de los reactores grandes, pudiéndose hacer un gran número de concentraciones de sólidos disueltos.

El secador de bandejas, tiene un tamaño adecuado para deshumedecer una cantidad suficiente de cristales de todo tipo, no sólo de los procesos de la Química Inorgánica sino también de la Química Orgañica tales como detergentes, jabones, levaduras, colorantes, ácido cítrico, etc.

El alambique con la columna de rectificación, se calculó según la capacidad de las posibles fermentaciones alcohólicas que se realicen en los reactores grandes.

La columna de rectificación servirá también para rectificar cualquier mezcla destilable de substancias orgañicas, pues sus platos pueden removerse y la entrada de alimentación puede adaptarse a cualquier plato según las necesidades, después de hacer los respectivos cálculos.

Los molinos tienen una capacidad suficiente, para las operaciones que se lleven a cabo en el laboratorio, existiendo dos tipos de ellos, uno de alta velocidad que es el de martillos y otro de bolas que es especialmente usado para materiales abrasivos tales como mollejones, cuarzos, etc.

El soplador centrífugo de aire servirá no sólo para surtir a los reactores grandes en las fermentaciones aeróbicas, sino también como mezclador de ciertos líquidos, donde el aire no perjudica la reacción.

El departamento electroquímico, está equipado de tal forma que servirá para hacer decapados, desengrasados, purificaciones y deposiciones electrolíticas de toda clase como cincados, cadmiados, niquelados, cromados duros, oxidaciones anódicas del aluminio, etc.

El abastecimiento de salmueras y agua fría por medio del equipo de refrigeración es indispensable para muchas reacciones exotérmicas tales como fermentaciones, nitraciones, sulfonaciones, etc. y también puede aprovecharse el mismo equipo para la industria del hielo. La capacidad de este equipo fué también calculada en relación con las necesidades de los reactores grandes.

La capacidad y potencia de las bombas para líquidos y la potencia y tamaño de los agitadores, fueron calculados para las operaciones que se hagan en los reactores.

La retorta para la destilación seca de la madera, está calculada con base en la obtención de productos en escala semi-industrial, pudiéndose obtener algunos como acetona, ácido acético, alquitrán, resinas, disolventes, etc.

El soporte con el tecle de media tonelada servirá para levantar cargas de mediano peso, tales como barriles con substancias, o para cuando sea necesario quitar algún aparato pequeño de su lugar para repararlo, o para montar nuevo equipo, etc.

El generador de vapor, se calculó para abastecer las necesidades de todos los reactores, del alambique y columna de rectificación del evaporador múltiple y de la secadora de bandejas.

Este generador tiene trampas de vapor, para eliminar condensados y mantener la presión obteniéndose el retorno de agua caliente que puede ser aprovechable en la economía del combustible. Para evitar el deterioro del generador de vapor, el agua de alimentación debe ser tratada para eliminarle la dureza antes de entrar a éste.

El Taller está especialmente equipado para hacer piezas, acoplar tuberías o construir nuevos aparatos necesarios para el laboratorio, así como para el mantenimiento en buen estado de todo equipo.

En el centro del laboratorio habrá varias mesas de trabajo que servirán para hacer los análisis de los productos de las operaciones que se estén llevando a cabo.

El laboratorio estará dotado también de una aula para clases teóricas, una oficina para el director del laboratorio, y una biblioteca.

En las diversas paredes libres que quedan dentro del edificio se instalarán varias pizarras.

Los aparatos están calculados para hacer la mayor parte de las operaciones que normalmente se contemplan en los cursos citados.

El edificio donde se encuentra instalado el laboratorio debe ser de acero, de tipo modular (dimensiones definidas), prefabricado, con el objeto de ampliarlo cuando sea necesario.

Las necesidades actuales de superficie son de unos ochocientos metros cuadrados, teniendo el edificio unos cuarenta metros de largo por veinte metros de ancho.

A través de los cálculos de toda la tesis se encontrarán dos sistemas de unidades, el Métrico Decimal y el Inglés, debido a lo heterogéneo del equipo. Conviene industrialmente poner algunos en un sistema y otros en el otro, de acuerdo con las unidades usadas por diferentes casas que fabrican este equipo.

EQUIPO Y SUS CARACTERISTICAS

Descripción del equipo que se puede construir en Costa Rica

Reactores

Dos reactores con un volúmen total de trescientos litros cada uno, para trabajar a presión atmosférica entre las temperaturas de -5°C y 200°C. Para controlar la temperatura tendrán acoplado un termómetro de carátula, que se puede instalar a distancia del reactor.

Los reactores tendrá en el fondo un serpentín con huecos para abastecerse de suficiente aire o algún otro gas pudiendo eliminarse dicho serpentín cuando fuere necesario.

Uno de estos reactores tiene abastecimiento de vapor para calentamiento por medio de un serpentín. El otro lo tiene por medio de una camisa. Tanto el serpentín como la camisa, pueden ser conectados a la tubería que surte salmuera fría o agua para enfriarlos.

Ambos reactores tienen tapa para las operaciones en que sea necesario eliminar el contacto de las corrientes de aire exteriores o de bacterias cuando se usen como fermentadores.

De estos dos reactores el que tiene serpentín de calentamiento esde acero inoxidable, el que tiene camisa es de hierro.

Dos reactores de ciento cincuenta litros cada uno de ellos de acero inoxidable, con una forma adecuada para montarlos en una base de calentamiento y unas agarraderas para movilizarlos facilmente.

Bases de calefacción para los reactores de sesenta litros.

Las bases de calefacción serán de tierra refractaria con un serpentín de calentamiento a vapor, existiendo a la salida del serpentín una trampa de vapor.

Retorta para destilación seca para maderas.

Es un cilindro de acero con una tapa de cierre hermético, y en la parte superior de ésta tiene conectado un serpentín de cobre el cual se sumerge en un tanque de agua para su enfriamiento, el agua de este tanque se estará renovando constantemente.

La retorta estará montada en un horno especial calentado con un quemador de petróleo.

Secador de Bandejas.

Secador de doce bandejas sobre las que pasa una corriente de aire saliente que proviene de un soplador centrífugo. El aire es calentado en un serpentín antes de que pase sobre las bandejas. A la salida del soplador existe una aleta reguladora de la cantidad de aire, y en el tubo de salida hay un aparato para medir la humedad relativa.

Soporte para tecle de media tonelada

Debe ser hecho de tubos de una y media pulgadas, con ruedas locas para poderlo movilizar en todas direcciones, con una altura de 3 metros y con 3 metros de largo.

DESCRIPCION DEL EQUIPO QUE DEBE PEDIRSE AL EXTRANJERO

Tecle de 1/2 tonelada con motor eléctrico

Filtro prensa

Filtro prensa de 10 placas cuadriculadas sobre relieve, con 9 placas lavadoras y 17 marcos.

Bombas centrífugas

Dos bombas centrífugas para líquidos de densidad semejante a la del agua y una bomba de ruedas dentadas para líquidos viscosos.

Equipo de refrigeración

Equipo de refrigeración para 2 toneladas diarias, para enfriar agua o salmuera y con serpentines intercambiadores de calor enfriados por agua.

Soplador centrífugo de aire

Soplador de aire regulable con presión estática de tres a seis libras por pulgada cuadrada a la salida del aire en el reactor, con capacidad para ciento veinte pies cúbicos por minuto.

Molinos

Molino de martillos con juego de mallas y un molino pequeño de bolas.

Centrífugas

Una centrífuga contínua de discos para cuatrocientos litros por hora y una discontínua, de canasta, de ocho litros de capacidad.

Agitadores

Dos agitadores portátiles oblicuos para instalación en bordes. Estos agitadores deben ser del tipo con hélice y de acero inoxidable.

Cubas electrolíticas

Una cuba electrolítica de plástico, ebonita o cualquier otro material resistente al calor con una capacidad total de dieciseis litros.

Una cuba electrolítica de vidrio con una capacidad total de dieciseis litros y una cuba electrolítica de ebonita con campana rotatoria de diez litros de capacidad utilizable.

Acompaña a estas cubas, calentadores de inmersión, rectificadores de placas, amperímetros y voltímetros, juego de electrodos de cobre y juego de metales purificados electrolíticamente.

Evaporador múltiple

Batería de tres evaporadores de acero inoxidable calentados por vapor, con vacío final de veintiseis pulgadas referido a treinta pulgadas barométricas, que evaporen entre los tres, noventa kilogramos por hora, de una concentración del cinco por ciento al cincuenta por ciento con una alimentación de cien kilogramos por hora y con precalentador para la alimentación.

Alambique con columna para rectificación

Para obtener diez kilogramos por hora de alcohol de noventa y cinco por ciento por peso a partir de una mezcla de alimentación de 10.1% por peso, con 3.53 de relación de reflujo y con 18 platos reales incluyendo al calderín, entrando la alimentación a una temperatura menor que la de ebullición. La columna debe tener precalentador para la mezcla de alimentación. El condensador refrigerante será de agua y los platos borboteadores serán de campana.

Generador de vapor

Generador de vapor de serpentín con retorno para condensados, alimentado por petróleo, con una potencia de 40 HP útiles.

La alimentación del agua debe venir acompañada de un sistema de purificación de aguas tipo intercambio iónico para eliminar las durezas del agua.

Equipo de taller mecánico para mantener el laboratorio en condiciones de buen funcionamiento.

Taller para trabajar plancha, lámina, tubos de hierro, acero inoxidable, aluminio, bronce y cobre.

CALCULO, DISEÑO Y ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO QUE SE PUEDE CONSTRUIR EN COSTA RICA, CON SUS RESPECTIVOS MATERIALES DE CONSTRUCCION

Reactores

Reactor de acero inoxidable para 300 litros aproximadamente de capacidad total

Este reactor está hecho de lámina de 1/16 pulgada de acero inoxidable, soldada con acetileno.

Tiene un serpentín de tubo de acero inoxidable de 1/2 pulgada que puede desconectarse por medio de uniones interiores que tiene dentro del reactor, para eliminarlo en caso necesario, pudiendo taparse los huecos de los niples, con tapones de rosca. Este serpentín se encuentra dentro del reactor y sirve tanto para calentamiento por medio de vapor, como para enfriamiento por medio de agua fría o saljueras frías. A la salida del serpentín encontraremos una trampa de vapor, para eliminar condensados y mantener la presión del vapor. Este serpentín consta de 36 espiras de un diámetro medio de 0.56 metros tiene longitud de 63.11 metros aproximadamente, y cada espira está separada medio centímetro una de la otra ocupando dos terceras partes del cilindro del reactor.

Tiene otro serpentín de 4.73 metros de largo para abastecimiento de aire hecho de tubo de acero inoxidable de una pulgada de diámetro, con huecos de 1/16 de pulgada en la parte superior e inferior del serpentín esparcidos también cada cinco centímetros.

El serpentín para abastecimiento de aire es de una sola espira con un brazo diametral a la espira y seis brazos pequeños en ángulo recto, de cada lado del brazo diametral.

Este serpentín tiene una unión para desmontarlo y se puede eliminar en caso necesario, poniendo un tapón de rosca en su lugar.

El cálculo del serpentín para abastecimiento de aire fué hecho con base en la práctica obtenida en la Fábrica de Productos Alimenticios Nacionales S.A.

La salida del reactor es de tubo de una pulgada de diámetro - que se encuentra en la parte más baja del reactor y permite descargarlo en veinte minutos máximo suponiendo que el fondo del reactor_ se encuentre a una altura de 2.5 metros y el líquido sea agua o una substancia de viscosidad y gravedad específica parecida.

El tubo de descarga del reactor tendrá una llave de compuerta.

La altura del cilindro del reactor será de un metro y el diámetro de 0.60 metros y tiene una tapa que le ajusta (cuando sea necesario taparlo), además tiene un termómetro con carátula que permite_ instalarlo a larga distancia. Como el reactor es para usarlo a la - presión atmosférica, las temperaturas de trabajo serán entre -5°C y 200°C.

El diseño de este reactor se encuentra en los dibujos N° 1-2-3.

Cálculos del reactor de acero inoxidable

Se conoce de antemano que su volúmen total es de trescientos litros aproximadamente y se calcula su diámetro y altura a partir de - una relación de uno a uno y medio entre diámetro y altura.

Por tanteo se obtiene:

$r = 0.30$ metros $\qquad H = 1$ metro

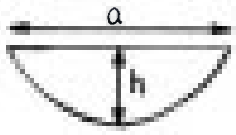
$\pi r^2 \times H = V \qquad V = 282.6$ litros

Según fórmulas para volúmenes de geometría esférica, se obtiene el volúmen del fondo del reactor.

h = Altura mayor entre el centro de la concavidad y el plano superior

a = Diámetro del plano superior

(1) $V = \frac{\pi h}{24} (3a^2 + 4h^2) = 14.6$ litros



Sector esférico

Sumando los dos volúmenes se obtiene 297.2 litros totales del reactor

La tapa tiene la misma forma, con las mismas dimensiones que el fondo del reactor.

Superficie total del reactor con la tapa inclusive:

r = 0.30 metros $\quad 2\pi \times r \times H + 2 \times \frac{\pi}{4} (4h^2 + a^2) = A$

H = 1 metro

$2\pi \times r \times H = 1.884$ metros cuadrados

h = 0.1 metros

a = 0.6 metros (1) $\frac{2\pi}{4} (4h^2 + a^2) = 0.628$ metros cuadrados

Sumando todas las cantidades se obtiene el Area total 2.512 metros cuadrados

Longitud del serpentín de calentamiento de tubo de 1/2 pulgada de diámetro.

2 r = 1.27 centímetros $\quad 2\pi \times r \times l = A$

Area total del reactor = 2.512 metros cuadrados

$$l = \frac{A}{2\pi \times r} \qquad l = 63.11 \text{ metros}$$

(1) EshbachOvid W. "Handbook of Engineering Fundamentals" Pag. 2-43.

Segunda edición, John Willey & Sons, Inc. New York 1952

Número de espiras del serpentín

0.28 metros radio medio de una espira. $2\ \Pi \times r = 1.758$ metros

$\frac{l}{c}$ = n° espiras l = longitud del serpentín

c = circunferencia media de una espira

$\frac{l}{c} = 36$ espiras

Separando las espiras medio centímetro una de la otra el serpentín ocupa una longitud de 63 centímetros.

A las dos terceras partes de la altura total del cilindro del reactor se coloca el serpentín de calentamiento a 25 centímetros de distancia del borde superior del reactor y a 12 centímetros de distancia del serpentín de abastecimiento de aire.

Volúmen del serpentín de calentamiento

El tubo de 1/2 pulgada de diámetro equivale a 0.635 centímetros de radio. (ver tabla de Factores de Conversión que se encuentra al final)

Grueso de las paredes del tubo según tabla (1) 0.083 pulgadas equivalente a 0.21 centímetros.

Restando el grueso de las paredes al radio del tubo se tiene que el radio útil del tubo es de 0.425 centímetros.

$\Pi \times r^2 \times l = V$ V = volúmen del serpentín V = 3.6 litros

Serpentín para abastecimiento de aire

Radio medio 28 centímetros $2 \times \Pi \times r = l$ l = 1.76 metros

El brazo diametral es de 0.57 metros y los brazos en ángulo recto al brazo de cada lado tienen longitudes de 0.15 metros, 0.20 metros, 0.25 metros, 0.25 metros, 0.20 metros y 0.15 metros.

Sumando los valores encontrados da un total de 4.73 metros.

(1) Boletín para tuberías de la Casa Murray vol. 10 N° 6, noviembre y diciembre 1957, página 12.

Reactor de hierro

Este reactor tiene las mismas características que el reactor de acero inoxidable, con las únicas excepciones que no tiene serpentín de calentamiento pero en su lugar tiene una camisa de 3 centímetros de espesor que sirve para el calentamiento por medio de vapor y que puede usarse para agúa fría cuando se necesite enfriarlo. El vapor entrará por la parte de arriba de la camisa y saldrá por la de abajo, donde a la salida estará una trampa para eliminar condensados y mantener la presión. El reactor será de lámina de hierro de 1/4 de pulgada soldada con acetileno. La camisa cubrirá la mitad de la superficie del reactor. El diseño de este reactor se encuentra en el dibujo N° 4.-

Cálculos del reactor de hierro

La mayoría de los cálculos son idénticos a los del reactor de acero inoxidable, por lo tanto se considerarán solamente los que son diferentes.

Cálculo del espesor de la camisa, tomando en cuenta el volúmen del serpentín de calentamiento del reactor de acero inoxidable, y la mitad de la superficie del mismo.

3.56 litros es el volúmen del serpentín de calentamiento del reactor de acero inoxidable y la mitad de la superficie es igual a 1.256 metros cuadrados.

V = volúmen $\quad \frac{V}{A} = l \quad l = 2.8$ centímetros

A = Area

l = Longitud

Debido a las pérdidas de calor tommos 3 centímetros de espesor para la camisa.

Superficie de la camisa

H = 1 metro
r = 0.30 metros
R = 0.33 metros
h = 0.13 metros
a = 0.66 metros

$$\frac{2\,\pi \times R \times H}{2} + \frac{\pi}{4}(4h^2 + a^2) + \pi(R^2 - r^2) = A$$

Superficie de la camisa 2.026 metros cuadrados

Reactores de 150 litros cada uno aproximadamente

Reactor de acero inoxidable

Este reactor tendrá las mismas características que el reactor de acero inoxidable de 300 litros, con la única excepción que las medidas son diferentes en casi todo menos en el diámetro de los tubos de descarga, serpentín de calentamiento y serpentín de abastecimiento de aire, que son iguales a las del reactor de 300 litros.

El cilindro del reactor tendrá de altura 0.75 metros y el diámetro será de 0.50 metros, tendrá un serpentín de calentamiento de 28 espiras con un radio medio de 0.23 metros ocupando las dos terceras partes aproximadamente del cilindro del reactor con una longitud aproximada de 40 metros y que deja 0.22 metros entre el serpentín y el borde superior del reactor y 0.1 metros entre el serpentín de calentamiento y el serpentín de abastecimiento de aire que es de 3.18 metros de largo.

El diseño de este reactor se encuentra en los dibujos N° 5, 6 y 7.

Cálculos del reactor de acero inoxidable de 150 litros de capacidad total aproximadamente.

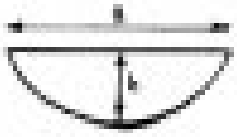
Tomando en cuenta el mismo método que se usó para calcular los reactores de 300 litros de capacidad, calcularemos éste. Por tanteo se obtiene:

radio = 0.25 metros altura = 0.75 metros

Sabiendo que el volúmen es 150 litros aproximadamente

$\pi \times r^2 \times H = 147$ litros

Según fórmulas para volúmenes de geometría esférica, se obtiene el volúmen del fondo del reactor:



h = 0.075 metros
a = 0.5 metros
h = altura mayor entre la concavidad y el plano superior
a = diámetro del plano superior

(1) $V = \frac{\pi \times h}{24} (3 a^2 + 4 h^2)$ V = 7.02 litros

Sector esférico

Sumando los dos volúmenes se obtiene 154.02 litros totales

Superficie total del reactor de acero inoxidable de 150 litros aproximadamente

$2 \pi \times r \times H + 2 \times \frac{\pi}{4} (4 h^2 + a^2) = A$

H = 0.75 metros h = 0.075 metros a = 0.5 metros A = 1.60537 metros cuadrados

Superficie de calefacción en el serpentín de 1/2 pulgada de diámetro.

El tubo de 1/2 pulgada de diámetro equivale a 1.27 centímetros.

(ver tabla de Factores de Conversión que se encuentra al final)

$2 \pi \times r \times l = A$ 1.27 centímetros = 2r

Longitud del serpentín de calentamiento

$l = \frac{A}{2 \pi \times r}$ l = 40.33 metros

Número de espiras del serpentín de calentamiento tomando un radio medio de 0.23 metros.

$2 \pi \times r$ = 1.44 metros la espira $\frac{l}{c}$ = N° espiras $\frac{l}{c}$ = 28 espiras

l = longitud del serpentín
c = circunferencia media de la espira

Las espiras se encuentran separadas un cuarto de centímetro una de la otra, dando una longitud de 42.56 centímetros que corresponden a dos terceras partes del cilindro del reactor.

(1) Eshback Ovid W. "Handbook of Engineering Fundamentals" Pag. 2-43. Segunda edición, John Willey & Sons, Inc., New York 1952.

Volúmen del serpentín de calefacción 2.258 litros

Longitud del serpentín de abastecimiento de aire de una sola espira con un radio medio de 22 centímetros, con un brazo diametral que tiene a cada lado 5 brazos en ángulo recto, con longitudes de 0.15 metros, 0.20 metros, 0.20 metros, 0.20 metros y 0.15 metros dando un total de 3.18 metros.

Reactor de hierro de 150 litros de capacidad total aproximadamente

Este reactor tiene las mismas características que el reactor de acero inoxidable, excepto que no tiene serpentín de calentamiento, pero en su lugar tiene una camisa de calentamiento a vapor.

El diseño de este reactor se encuentra en el dibujo N° 8

Cálculo del reactor de hierro de 150 litros de capacidad total aproximadamente.

Se expondrá solamente los cálculos diferentes a los del reactor de acero inoxidable.

Espesor de la camisa de calentamiento.

A partir del volúmen del serpentín de calentamiento del reactor de acero inoxidable de 150 litros de capacidad total, y de la mitad de la superficie total del mismo.

Volúmen del serpentín: 2.258 litros

Mitad de la superficie = 0.8026 metros cuadrados

$\frac{V}{A} = l$ $\quad$ v = volúmen $\quad$ l = 2.8 centímetros

A = área

l = longitud

Por las pérdidas de calor se tomarán 3 centímetros como espesor de la camisa.

Superficie de la camisa

$$\frac{2\pi \times R \times H}{2} + \frac{\pi}{4}(4h^2 + a^2) + \pi(R^2 - r^2)$$

H = 0.75 metros r = 0.25 metros R = 0.28 metros

h = 0.105 metros a = 0.56 metros

Superficie de la camisa 1.66 metros cuadrados

Cálculo del tiempo necesario para descargar los reactores de 300 litros de capacidad, suponiendo que es agua pura a 15.5°C y que el reactor está completamente lleno.

Debido a lo complejo de este problema y por no tener mucha importancia, pues los reactores albergarán infinidad de líquidos muy diferentes al agua, se hará un cálculo aproximado y empírico.

Se supone que los reactores se encuentran a una altura tal que el fondo de ellos está a 2.5 metros del piso, tomando una altura media de 3 metros o sea la mitad del reactor para hacer el cálculo, y se supone que el reactor es completamente cilíndrico.

K = 0.82 K = Constante de pérdida de entrada a la tubería

f = 0.62 f = Constante de pérdida de salida a la tubería

hf = Pérdidas por fricción en el tubo

Por tanteo se prueban varias velocidades y se comprueban en una ecuación de Bernoulli.

H = altura total

hf = Pérdidas por altura en la tubería debido a la fricción

K = Constante de pérdida de salida

g = Aceleración de la gravedad

V = Velocidad en metros por segundo y se prueba una velocidad de 5 metros por segundo.

$$H - hf - \frac{K\,(V^2)}{2\,g} - \frac{f\,(V^2)}{2\,g} = \frac{V^2}{2\,g}$$

El diámetro del tubo es de 1 pulgada

El área del tubo será de 5.07 centímetros cuadrados

Q = Gasto en litros por segundo

V = Velocidad en decímetros por segundo

A = En decímetros cuadrados

y el gasto es de 0.25 litros por segundo lo que equivale a 15 litros por minuto, que dividiéndolo entre 3.78 litros se obtiene 3.98 galones por minuto.

Buscando en las tablas (1) para pérdidas por fricción en tuberías de 1 pulgada se encuentra que 4 galones por minuto dan un 2.14% de pérdidas entonces hf será 0.05 metros de pérdida de altura en la tubería y planteando la ecuación da una velocidad de 4.8 metros por segundo.

Se comprueba que 5 metros por segundo es la velocidad indicada

Tiempo de descarga del reactor:

V_t = volúmen total V_t = 300 litros

$V/_m$ = volúmen por minuto $V/_m$ = 15 litros por minuto

$$\frac{V_t}{V/\text{minuto}} = \text{minutos}$$

La descarga del reactor se hará en 20 minutos

Para los reactores de 150 litros se hace la misma clase de consideraciones, que para los reactores de 300 litros y la ecuación de Bernoulli nos da 4.8 metros por segundo o sea que tomamos también 5 metros por segundo entonces se tiene que el tiempo será de 10 minutos.

(1) Catálogo de Bombas y sistemas de agua de la casa Jacuzzi Pag. 15

Reactor de 60 litros de capacidad total aproximadamente.

Este reactor es de lámina de acero inoxidable de 1/16 de pulgada soldado con acetileno y tiene una forma adecuada para montarlo sobre bases de calefacción, además tiene unas agarraderas para movilizarlo facilmente.

Este reactor es para hacer pequeñas operaciones individuales.

El diseño de este reactor se encuentra en el dibujo N° 9

Cálculo del reactor de 60 litros de capacidad total aproximadamente

Cálculo del volúmen del reactor Por tanteo:

(1) $V = \frac{\pi \times h}{24} (3 a^2 + 4 h^2)$ h = 0.45 metros V = 0.063 metros cúbicos
a = 0.30 metros

Volúmen: 63 litros

(1) Superficie: $\frac{\pi}{4} (4 h^2 + a^2) = A$

Area total del reactor 0.7065 metros cuadrados

Bases para la calefacción de los reactores de 60 litros de capacidad total

Estas bases son hechas de tierra refractaria, con un serpentín de calentamiento a vapor, de tubo de 1/2 pulgada de diámetro de acero inoxidable con una longitud de 5.55 metros y un volúmen de 0.28 litros.

La entrada del vapor es por arriba y la salida, por abajo donde se encuentra una trampa de vapor para eliminar condensados y mantener la presión.

El diseño de esta base se encuentra en el dibujo N° 9

(1) Eshbach Ovid W. "Handbook of Engineering Fundamentals" Pag. 2-43 Segunda edición, John Willey & Sons, Inc., New York 1952

Cálculos de la base de calefacción del reactor de 60 litros de capacidad total aproximadamente.

Por medio del dibujo N° 10 de su forma aproximada se obtuvieron los siguientes radios: 0.15 metros, 0.14 metros, 0.13 metros, 0.12 metros, - 0.11 metros, 0.10 metros y 0.08 metros.

Los radios obtenidos en el dibujo nos permiten obtener la longitud aproximada del serpentín de calentamiento.

6.28 (14 + 13 + 12 + 11 + 10 + 8) = 486.8 centímetros, que sumándole 68 centímetros de entrada y salida se obtienen 554.8 centímetros.

Cálculo de la tierra refractaria necesaria para las bases de calefacción.

La base tiene 68 centímetros de diámetro y 50 centímetros de alto.

Volúmen total: $\Pi \times r^2 \times l = V = 181.44$ litros

Volúmen del reactor de 60 litros es de 63 litros

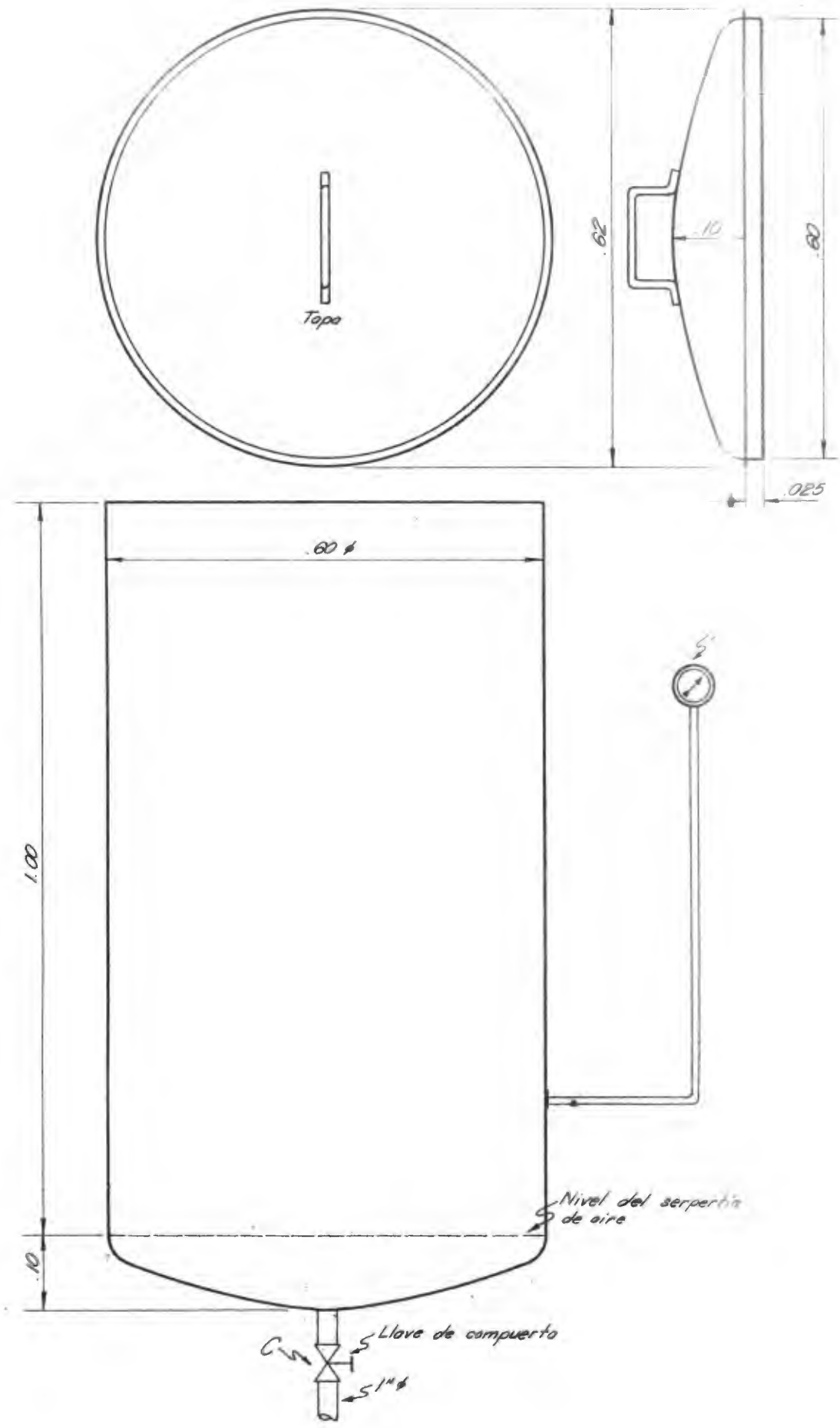
Entonces: 181.44 -
63 =
118.44 litros = el volúmen de la tierra refractaria necesaria

118.44 litros son equivalentes a 7290 pulgadas cúbicas, que a la vez equivale a 3.07 pies cúbicos. (Ver tabla de Factores de Conversión que se encuentra al final)

La tierra refractaria tiene aproximadamente 109 libras por pie cúbico

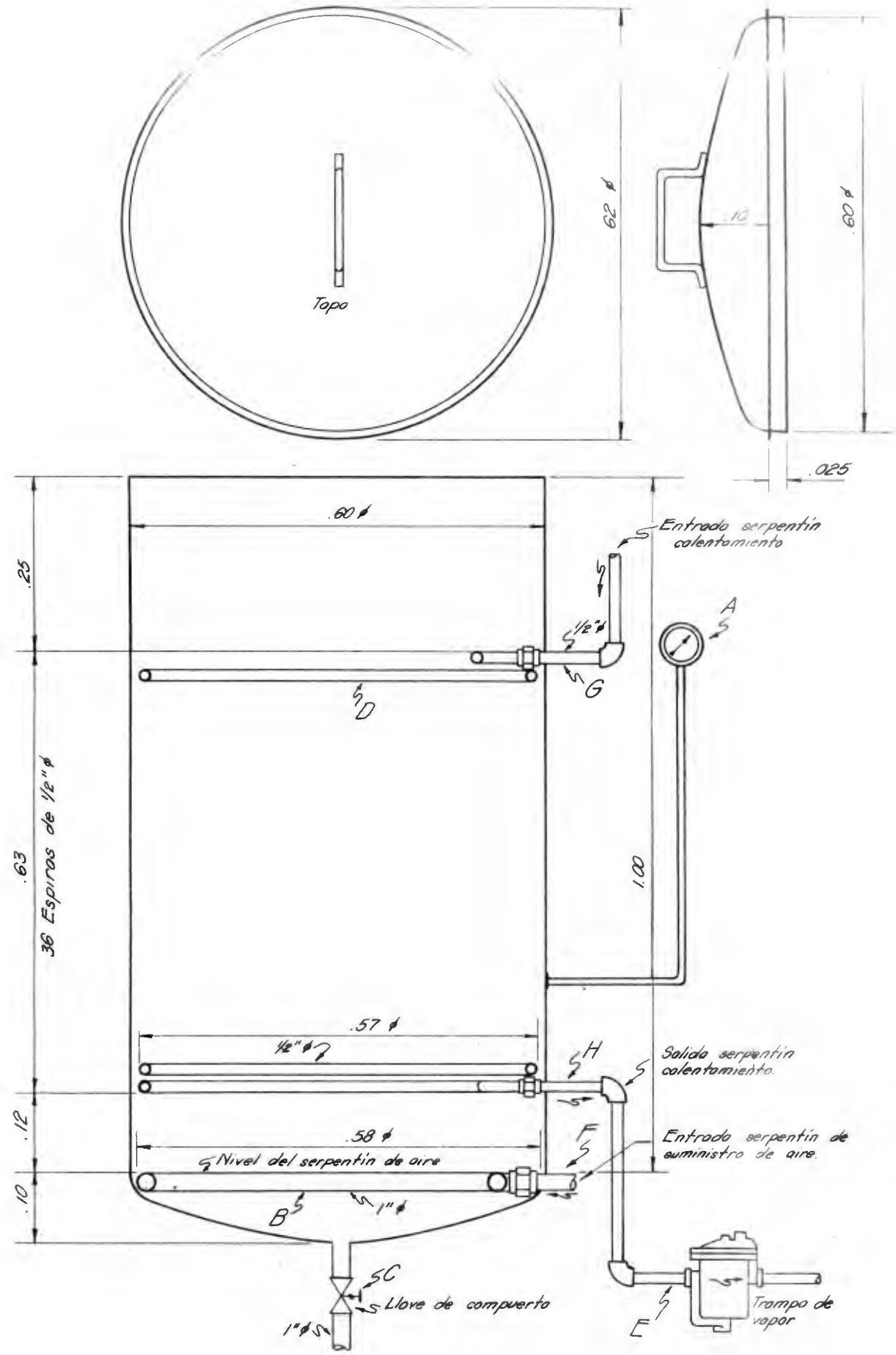
109 libras por pie cúbico x 3.07 pies cúbicos = 335 libras de tierra refractaria más 20% de seguridad da 67 libras más.

Sumando estas dos cantidades da 402 libras de tierra refractaria en total para cada base.



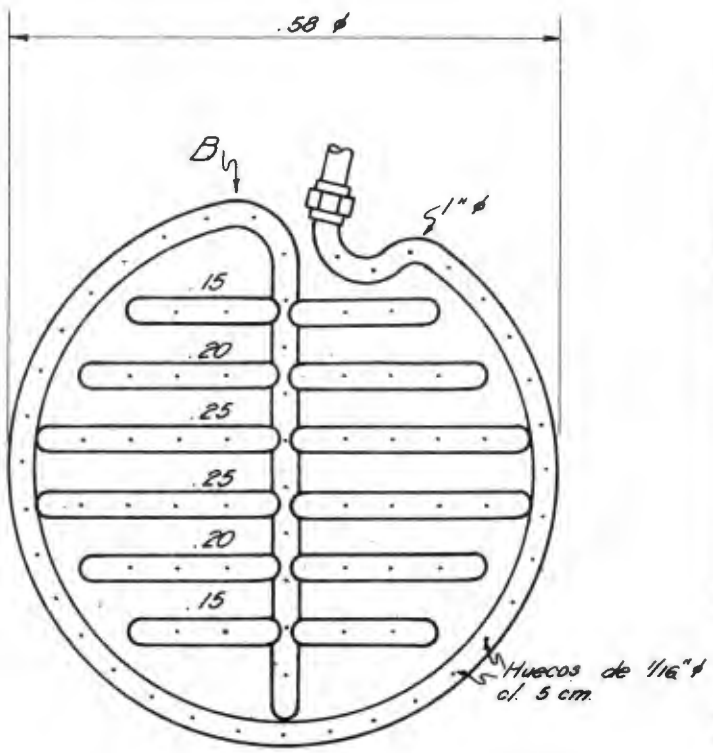
DIBUJO Nº 1

Escala: 1:8

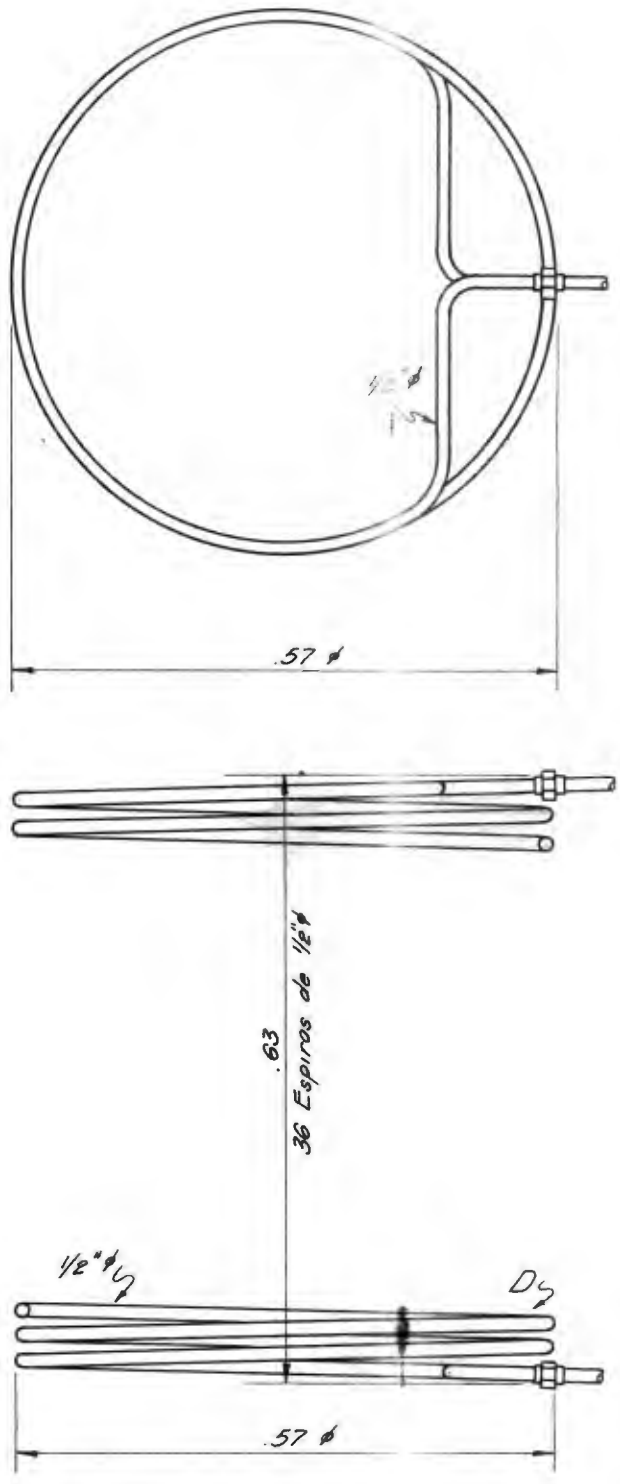


DIBUJO Nº 2

Escala: 1:8



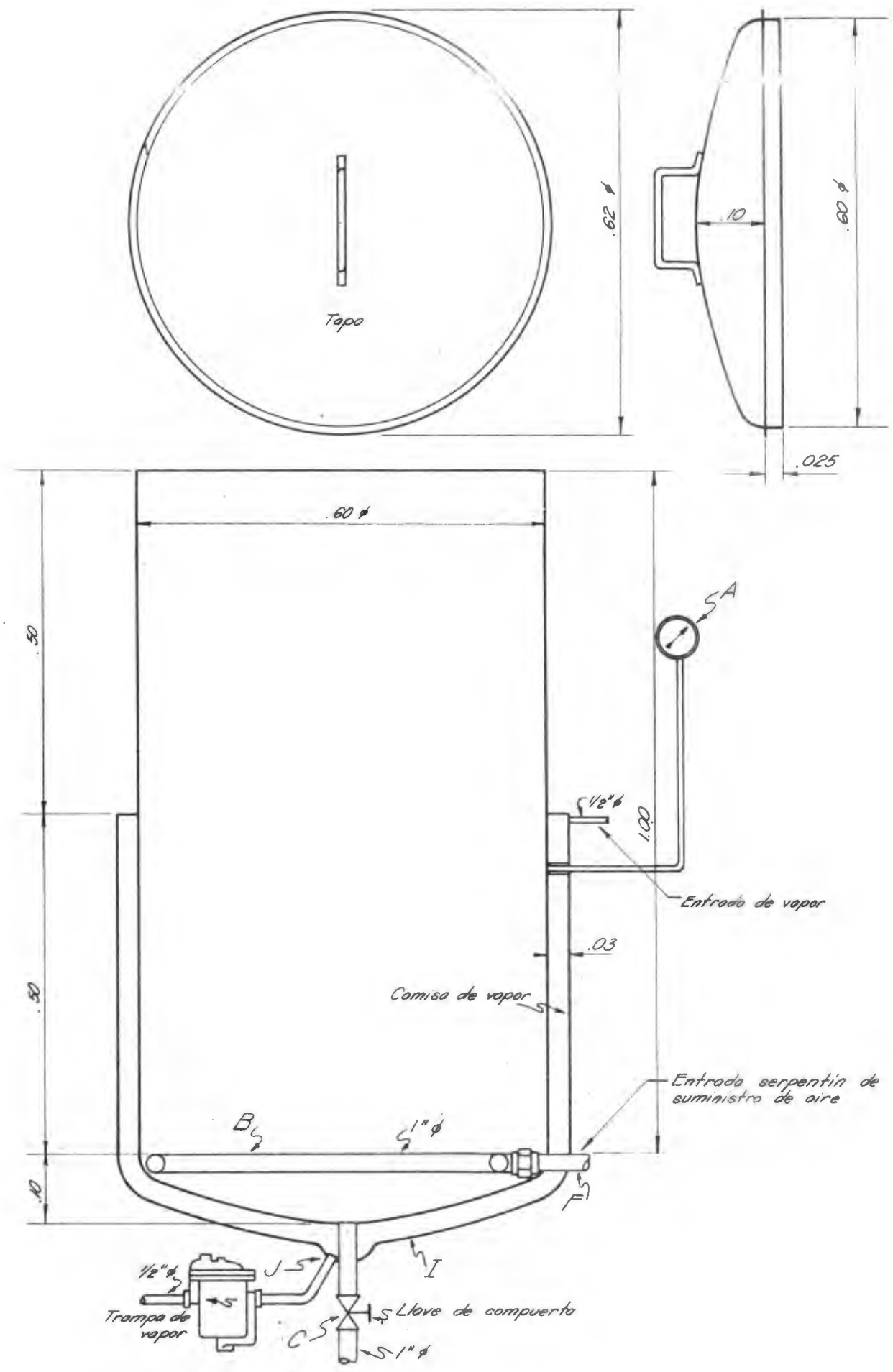
SERPENTIN DE AIRE



SERPENTIN DE CALENTAMIENTO

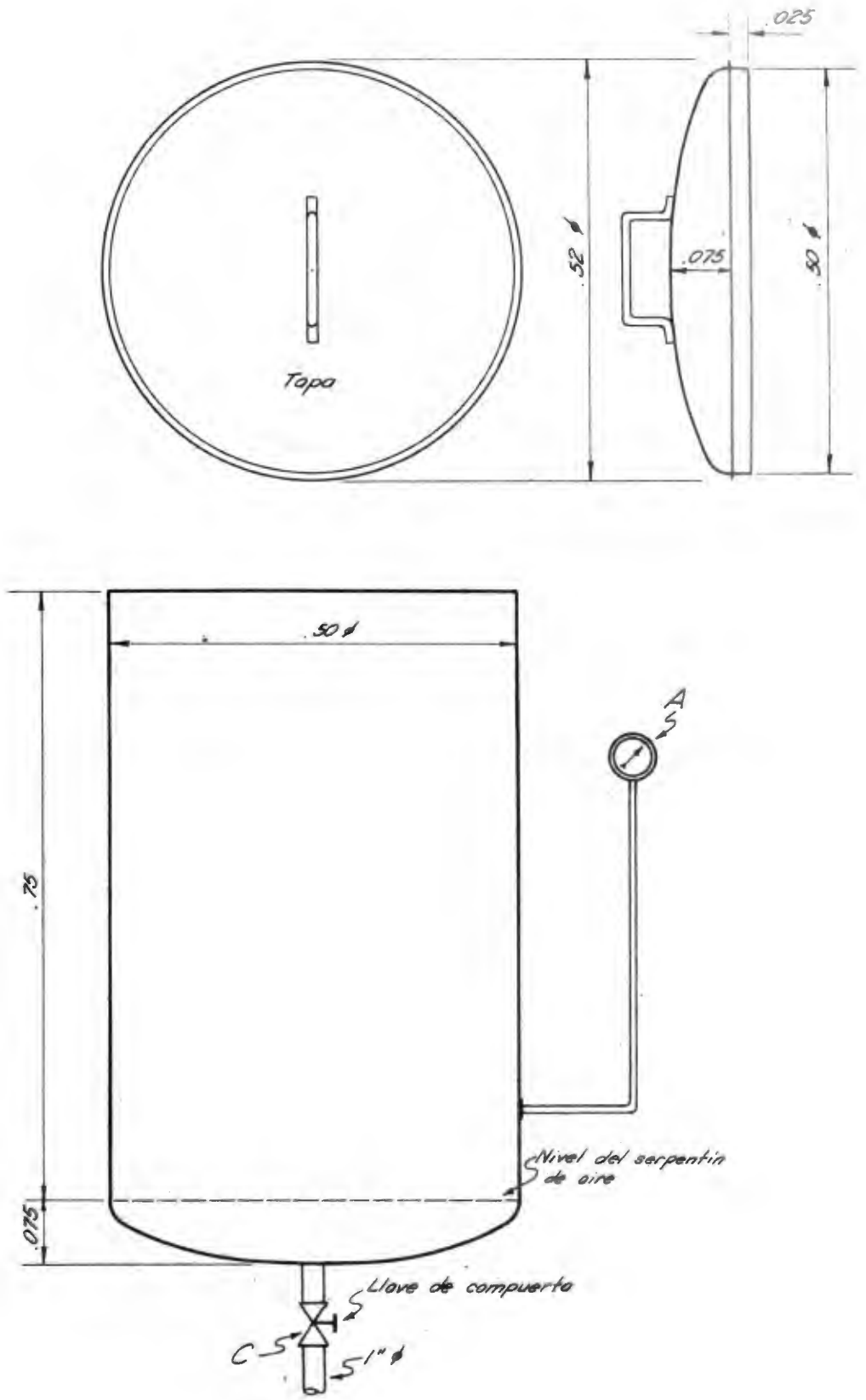
DIBUJO Nº 3

Escala: 1:8



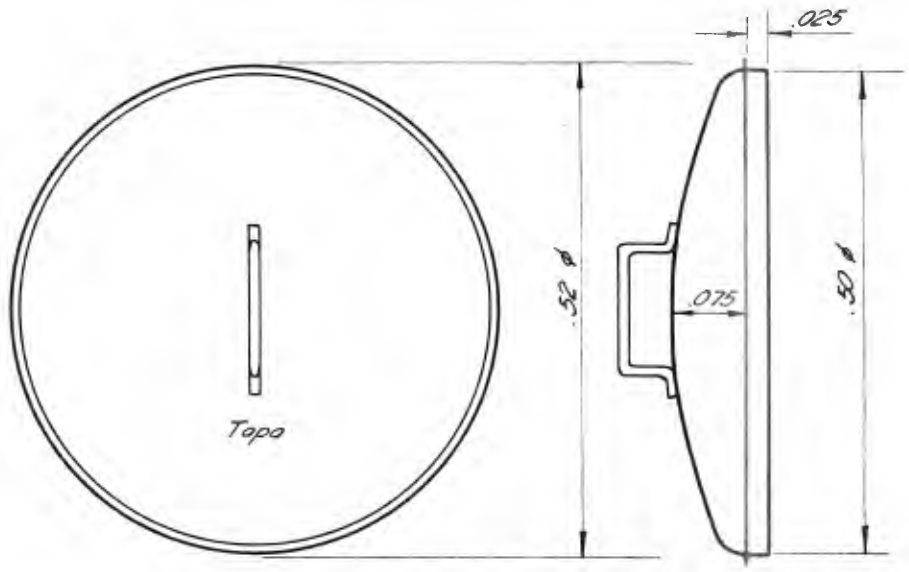
DIBUJO Nº 4

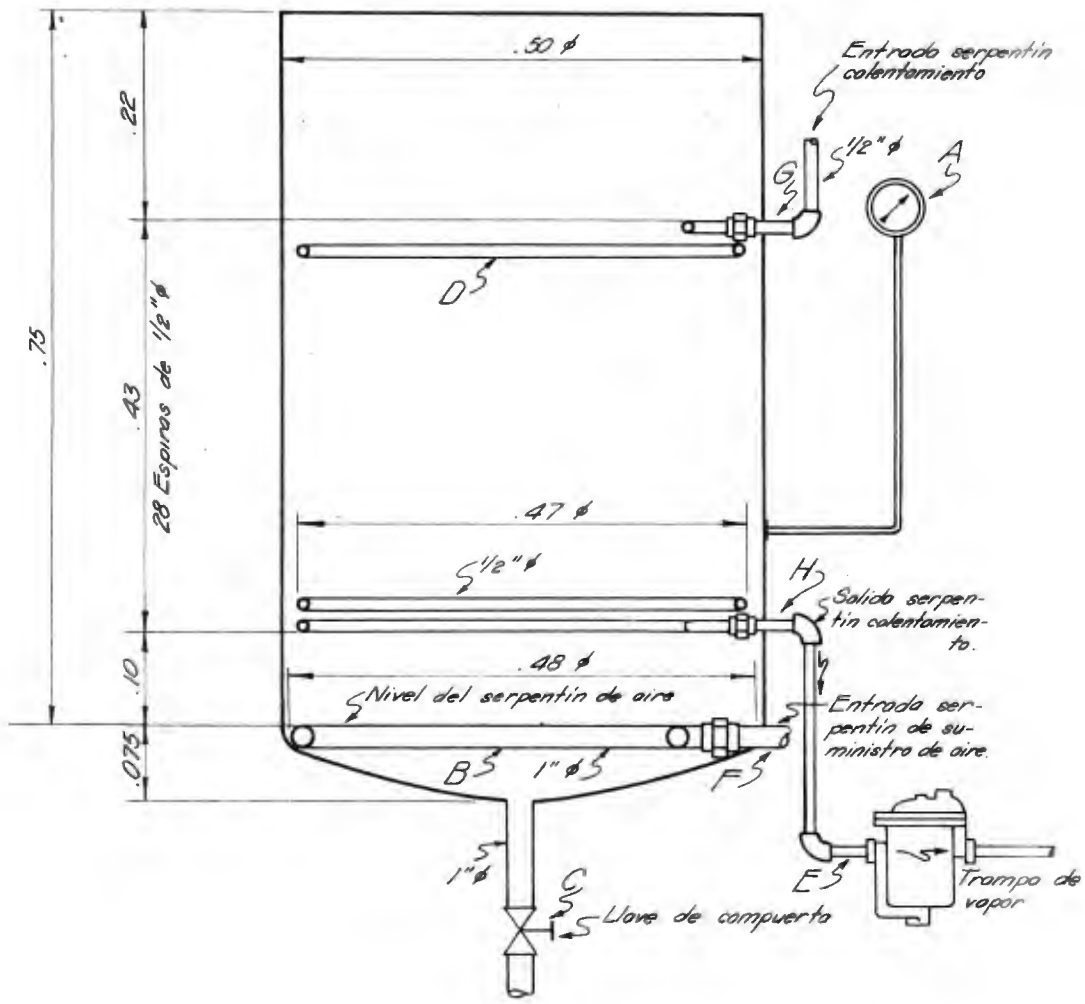
Escala: 1:8



DIBUJO Nº 5

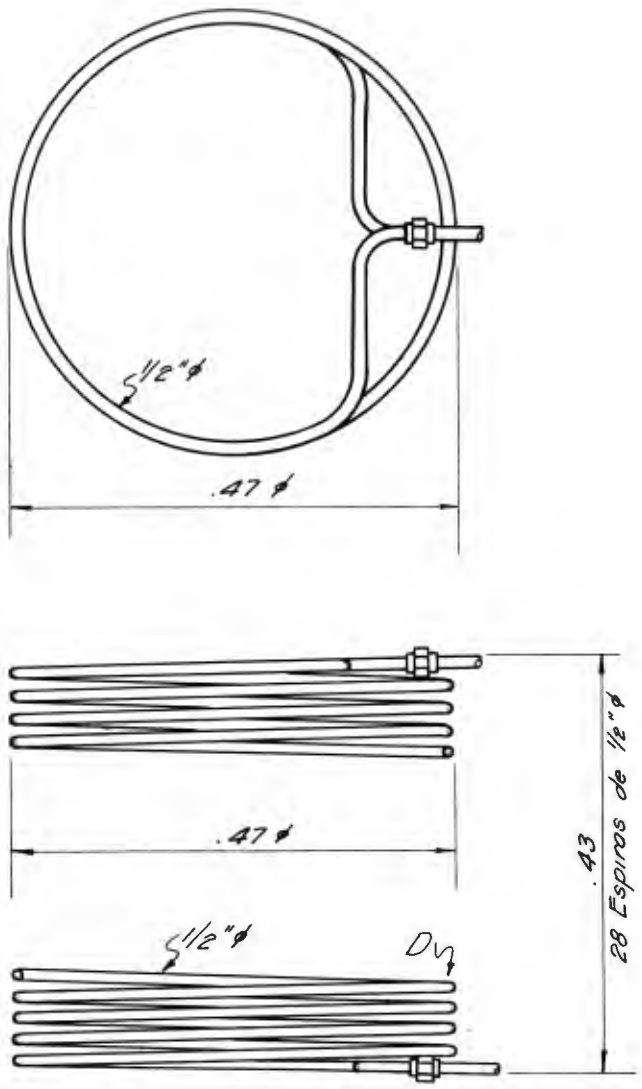
Escala: 1:8



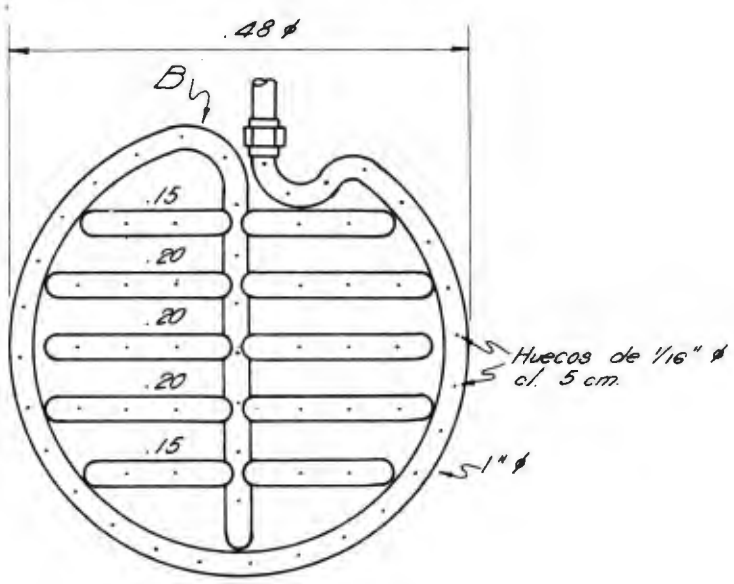


DIBUJO Nº 6

Escala: 1:8



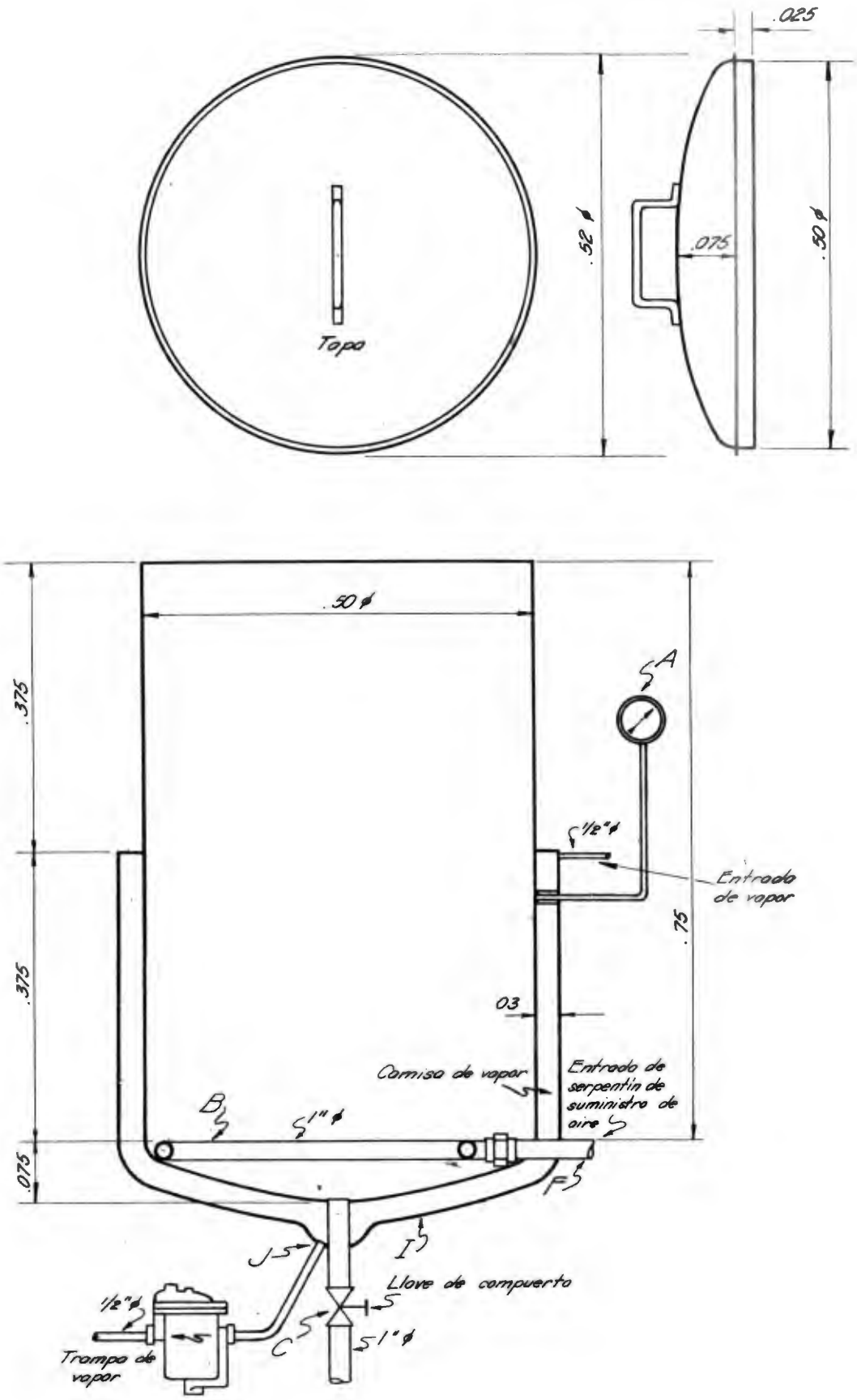
SERPENTIN DE CALENTAMIENTO



SERPENTIN DE AIRE

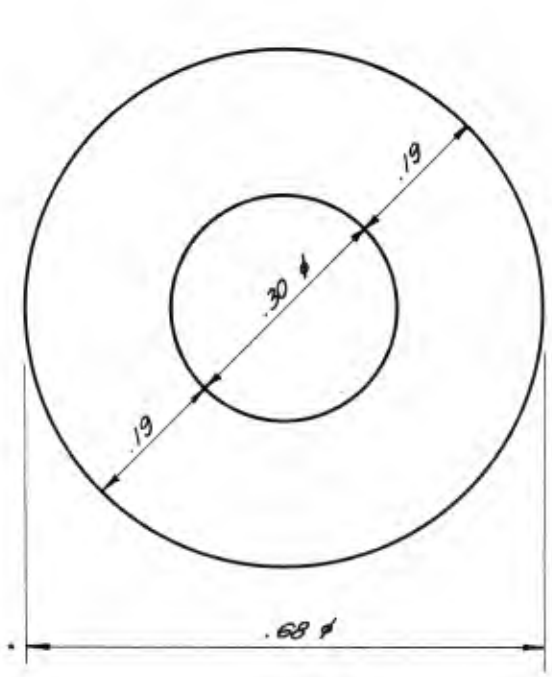
DIBUJO Nº 7

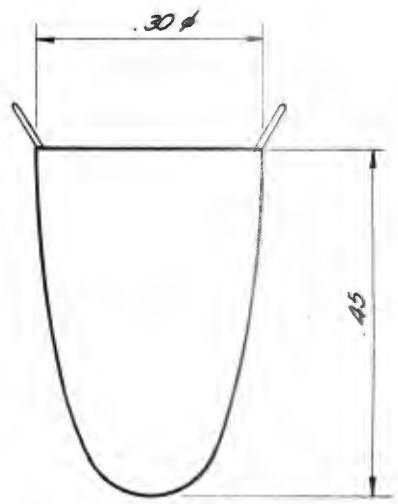
Escala: 1:8

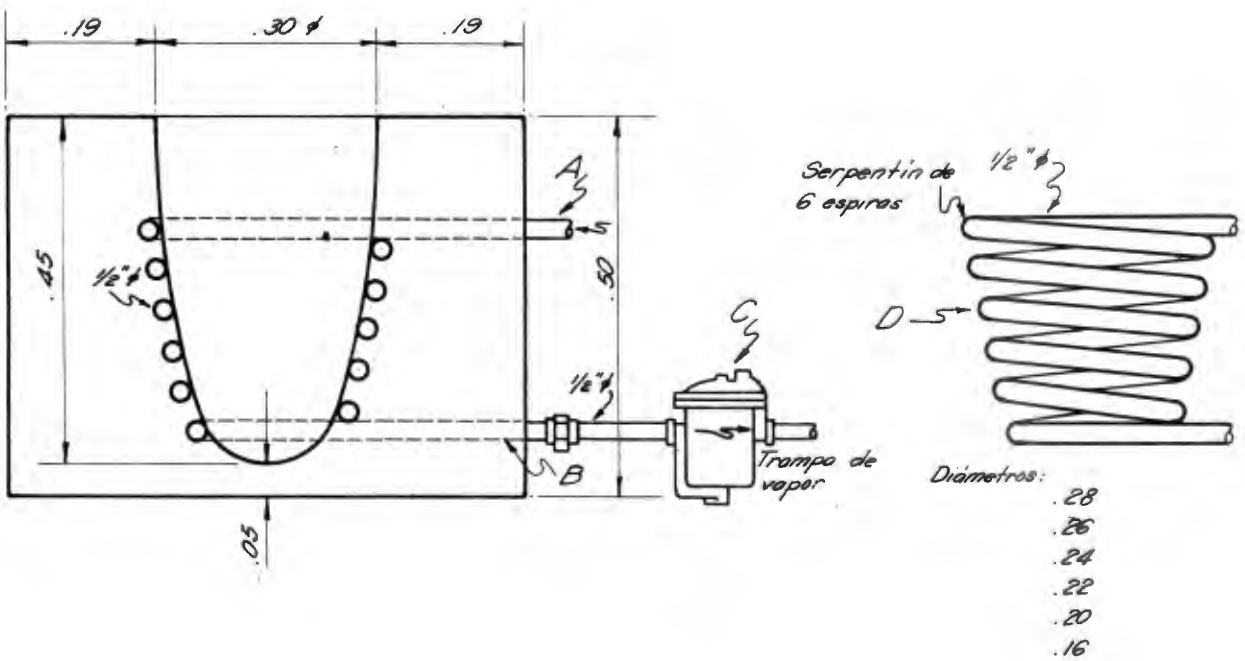


DIBUJO Nº 8

Escala: 1:8

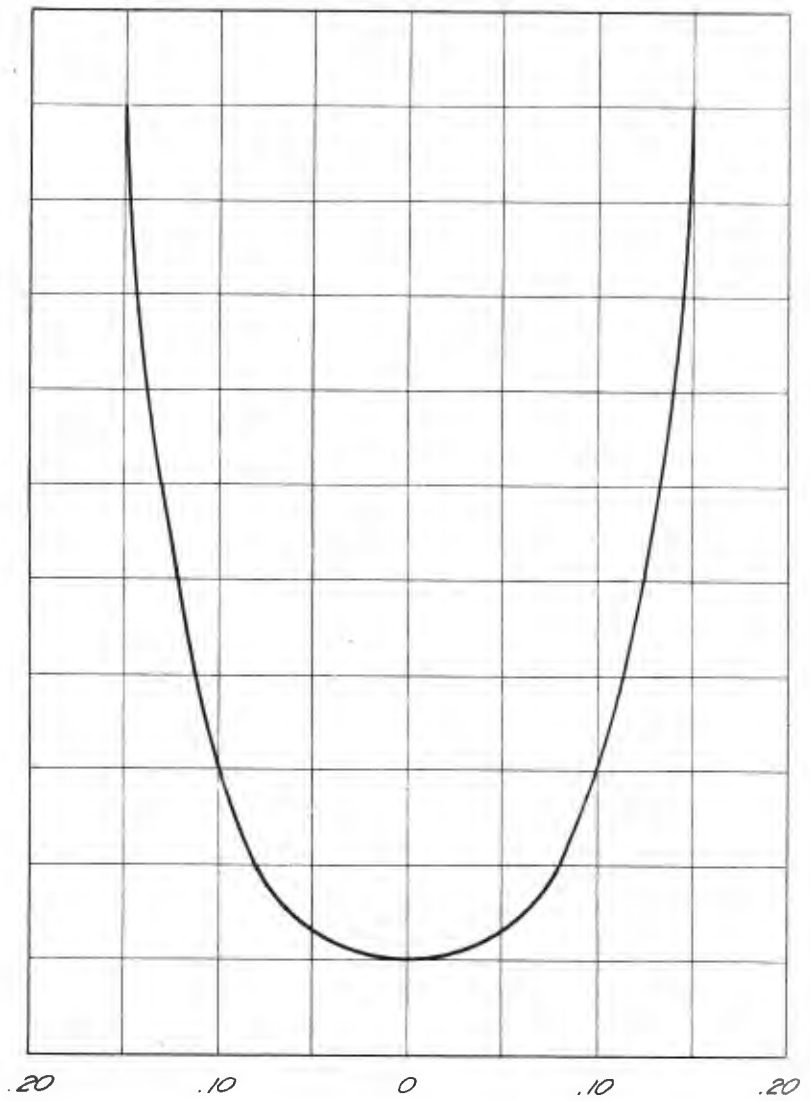






DIBUJO Nº 9

Escala: 1:10



DIBUJO Nº 10

Escala: 1:4

INDICE DE LETRAS EN LOS DIBUJOS N°s 1-2-3-4-5-6-7 y 8

A = Termómetro de carátula

B = Serpentín de suministro de aire

C = Llave de compuerta

D = Serpentín de calentamiento

E = Trampa de vapor

F = Entrada del serpentín de suministro de aire

G = Entrada del serpentín de calentamiento

H = Salida del serpentín de calentamiento

I = Camisa de calentamiento

J = Salida del condensado de la camisa de calentamiento

INDICE DE LETRAS EN EL DIBUJO N° 9

A = Entrada del serpentín de calentamiento

B = Salida del serpentín de calentamiento

C = Trampa de vapor

D = Serpentín de calentamiento

Secador de bandejas por medio de corriente de aire caliente

Se sabe que cada secador es un aparato específico, para determinada operación de secado y que depende de una gran cantidad de variables de la materia que se desea secar, pero se tratará el asunto escogiendo un modelo de secador que pueda servir para varias operaciones con buenos resultados.

Este secador tiene doce bandejas de lámina de acero inoxidable de 1/16 de pulgada de grueso, de 8 centímetros de altura y de 66 centímetros por 60 centímetros en la parte superior y 54 centímetros por 48 centímetros en el fondo de la bandeja.

La corriente de aire sale de un soplador centrífugo de 4.5 Horse Power con presión estática de 3 pulgadas de agua y aleta reguladora de la cantidad de aire, saliendo éste con una velocidad de 15 pies por segundo, con un gasto de 2700 pies cúbicos por minuto como mínimo. Es calentada por un serpentín de calentamiento a vapor hecho de tubo de acero inoxidable de 1/2 pulgada con una longitud de 16 metros que cubre una superficie de paso de 14 pulgadas por 31 pulgadas siendo la superficie de calefacción de 0.808 metros cuadrados.

La coraza del secador es de lámina de hierro de 1/4 de pulgada de grueso, pintada con pintura anticorrosiva, con una puerta de 66 centímetros de ancho por 2.45 metros de alto, con cierre hermético, siendo las dimensiones del secador 2.45 metros de alto por 1.32 metros de ancho por 0.80 metros de grueso. Tiene además un tubo de salida de aire de 22 pulgadas de diámetro con tres metros de largo y un niple de 0.30 metros y un codo.

Con el objeto de evitar pérdidas de calor, es conveniente que todo el secador se pinte con pintura protectora primero y luego con otra de aluminio forrándolo luego en asbestos. Para controlar la humedad relativa es conveniente instalarle un aparato de medida aproximadamente al final de la salida del aire. El diseño de este secador se encuentra en los dibujos N°s 11, 12 y 13.

Cálculos del secador de bandejas

Superficie del fondo de una bandeja en metros cuadrados

0.48 x 0.54 = 0.259 metros cuadrados

Superficie lateral de una bandeja en metros cuadrados

$$\frac{(a + b)}{2} \times h = A$$

$$\begin{array}{r} 0.66 + \\ \underline{0.54} \\ 1.20 \end{array} \qquad \frac{1.20}{2} = 0.60 \qquad 2 \times 0.6 \times 0.1 = 0.12 \text{ metros cuadrados}$$

$$\begin{array}{r} 0.60 + \\ \underline{0.48} \\ 1.08 \end{array} \qquad \frac{1.08}{2} = 0.54 \qquad 2 \times 0.54 \times 0.1 = 0.108 \text{ metros cuadrados}$$

Superficie total de las 12 bandejas

0.259 x 12 = 3.1 metros cuadrados
0.12 x 12 = 1.44 metros cuadrados
0.108 x 12 = 1.30 metros cuadrados

Sumando todas las superficies se obtiene 5.84 metros cuadrados

Cálculo del aire

Area libre 14 pulgadas x 31 pulgadas = 434 pulgadas

Según tabla (1) para equivalentes rectangulares a tubos circulares:

$$d = 1.265 \sqrt[5]{\frac{(ab)^3}{a + b}} \qquad \begin{array}{l} a = 31 \text{ pulgadas} \\ b = 14 \text{ pulgadas} \end{array}$$

(1) Boletín N° 310 de la Ilg Electric Ventilating C° Pag. 26

Esto da un diámetro de 22 pulgadas de tubo condición necesaria para que la secadora produzca un cambio de aire con una velocidad de 15 pies - por segundo como mínimo o sean 900 pies por minuto.

$\Pi \times r^2 = A$

$3.14 \times (11 \text{ pulgadas})^2 = 380$ pulgadas cuadradas

380 pulgadas cuadradas son equivalentes a 2.64 pies cuadrados

(Ver tabla de Factores de Conversión al final)

A = área libre de paso

v = velocidad en pies por minuto

Q = gasto en pies cúbicos por minuto

$Q = v \times A$

Q = 900 pies por minuto x 2.64 pies cuadrados = 2360 pies cúbicos por minuto

Para seguridad se aumenta un 50 por ciento más aproximadamente, dando 3600 pies cúbicos por minuto.

<u>Cálculo de la pérdida por fricción, para investigar la presión necesaria a la salida del soplador y la potencia del motor.</u>

Longitud equivalente a un tubo de 22 pulgadas de diámetro

Longitud del tubo de salida más el codo 330 centímetros

13 x 1.32 metros = 17.16 metros

Sumando todas las longitudes se obtiene 2046 centímetros equivalentes a 810 pulgadas.

1 Codo equivale a 5 diámetros

5 x 22 pulgadas = 110 pulgadas 110 pulgadas x 13 = 1430 pulgadas

810 pulgadas más 1430 pulgadas son 2240 pulgadas que es equivalente a 186.66 pies de longitud. (Ver tabla de Factores de Conversión al final)

Según tabla (1) para fricciones en tuberías para aire se tiene que la presión estática para 3600 pies cúbicos por minuto en un tubo de 186.66 pies de longitud y 22 pulgadas de diámetro es de 1.5 - pulgadas por cada 100 pies de longitud en el tubo:

$$\frac{186.66 \text{ pies} \times 1.5 \text{ pulgadas}}{100 \text{ pies}} = 2.799 \text{ pulgadas} \approx 3 \text{ pulgadas de agua}$$

de presión estática.

Según tabla (2) para sopladores centrífugos para 3600 pies cúbicos por minuto y una presión estática de 3 pulgadas se tiene que_ usar un motor de 6.5 Horse Power y con 1900 Revoluciones por minuto.

Cálculo de los metros del hierro ángulo necesario para la estructura que sostiene las paredes del secador y las bandejas.

Existen 18 centímetros de distancia entre cama y cama de las - bandejas.

La estructura del secador está hecha de hierro ángulo de 1 pulgada.

2.45 x 8 = 19.60 metros 1.32 x 28 = 36.96 metros

24 x 0.66 = 15.84 metros 48 x 0.6 = 28.8 metros

28 x 0.8 = 22.4 metros

Sumando todas las longitudes se obtiene 123.60 metros y agregándole un 10% de seguridad se tiene 135.96 metros de hierro ángulo de - 1 pulgada.

Superficie en metros cuadrados de lámina de acero inoxidable de 1/16 pulgadas para las 11 aletas desviadoras del aire, que van alternadas de un lado y otro.

0.2 x 0.6 = 0.12 metros cuadrados 0.12 x 12 = 1.44 metros cuadrados

0.13 x 6.28 = 0.8164 metros

(1) Boletín N° 310 de la Ilg Electric Ventilating C° Pag. 25

(2) Boletín N° 249 de la Ilg Electric Ventilating C° sobre sopladores centrífugos Pag. 24

$\frac{0.8164}{4}$ = 0.2082 metros 0.2082 x 0.6 = 0.12 metros cuadrados

0.12 metros cuadrados x 12 = 1.44 metros cuadrados

Sumando todas las cantidades se obtiene 3.078 metros cuadrados de lámina de acero inoxidable de 1/16 pulgada.

Superficie del secador

Cálculo de la lámina de hierro de 1/4 de pulgada de grueso

2 x 2.45 x 0.8 = 3.92 metros cuadrados 2 x 2.45 x 1.32 = 6.468 metros cuadrados

2 x 1.32 x 0.8 = 2.112 metros cuadrados

Tubo de lámina de acero inoxidable de 1/16 de pulgada de grueso

22 pulgadas son equivalentes a 55.88 centímetros (Ver tabla de Factores de Conversión al final)

0.28 x 6.28 = 1.7584 metros

Longitud del tubo aproximada considerando que la unión del niple de 0.30 metros y el tubo de 3 metros es a 45°, se obtiene una longitud de 3.86 metros.

Superficie total del tubo: 1.75 x 3.86 = 6.75 metros cuadrados

Superficie total del secador: se obtiene sumando todas las superficies: 19.24 metros cuadrados.

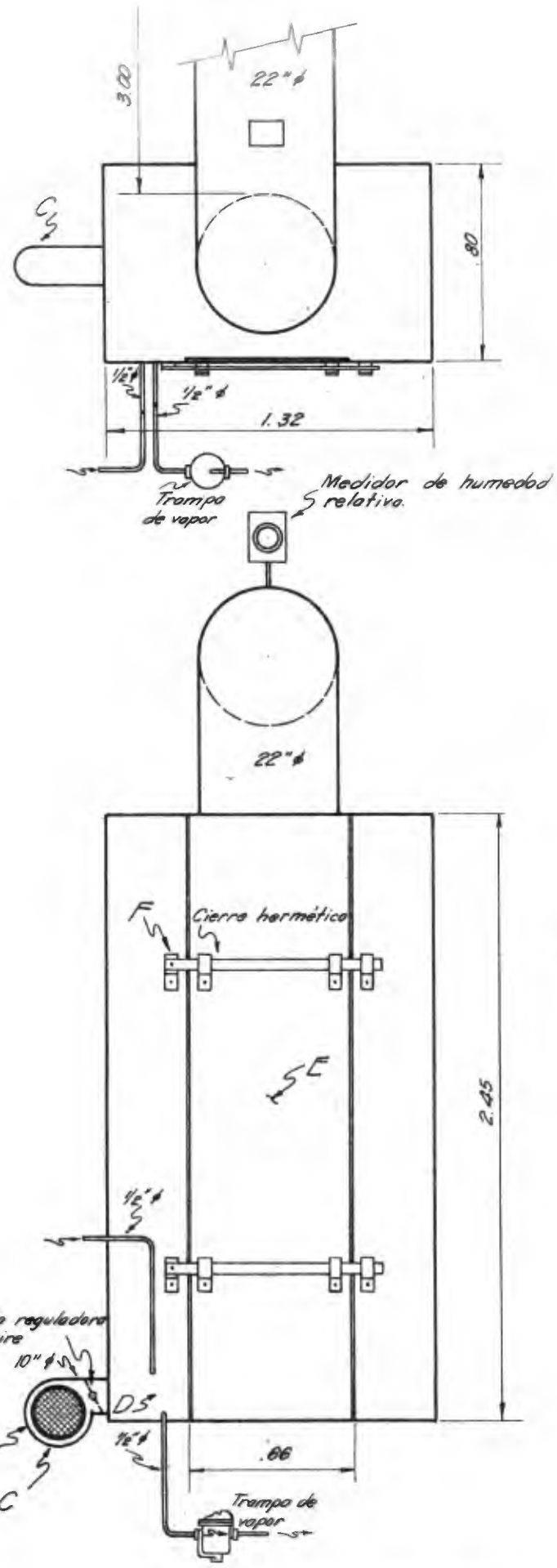
Cálculo del serpentín de calefacción de tubo de acero inoxidable de 1/2 pulgada.

Cubre una área de 10 pulgadas (25.4 centímetros) por 0.8 metros o sea:

0.8 x 20 = 16 metros de tubo

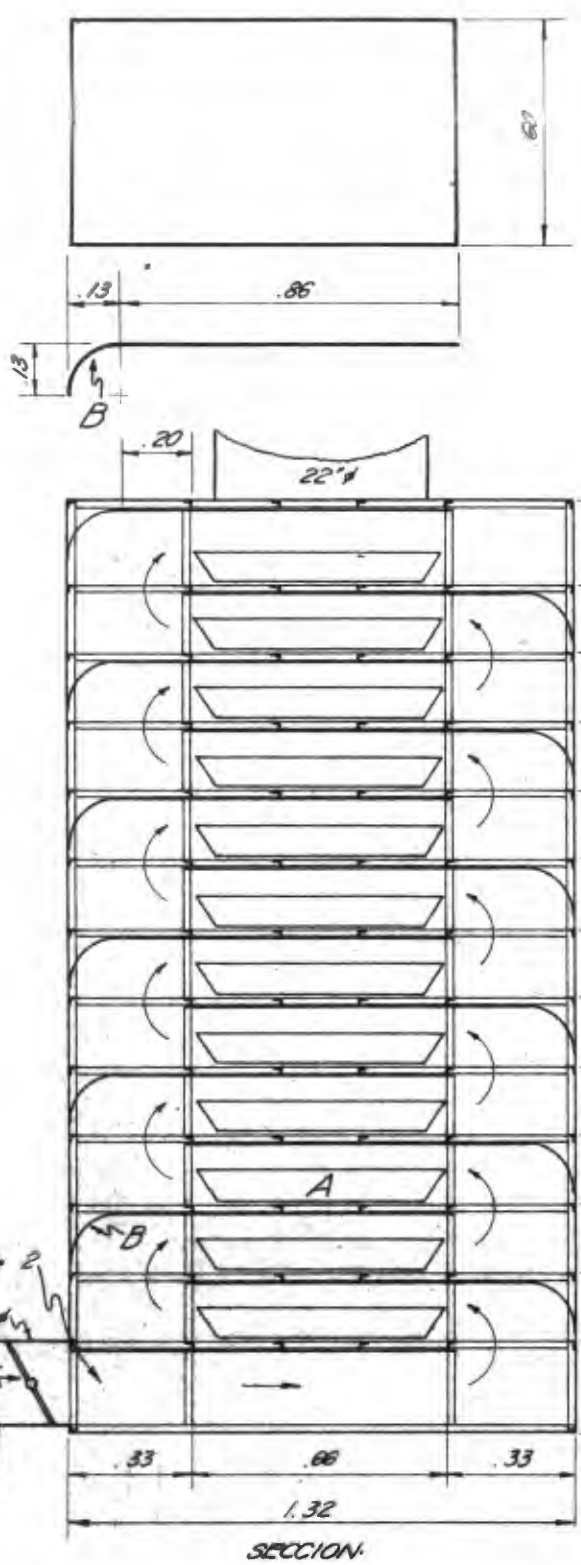
El vapor entra por arriba y sale por abajo habiendo una trampa de vapor a la salida del serpentín.

El serpentín cubre toda la superficie alternando los tubos, con - una separación horizontal de media pulgada.



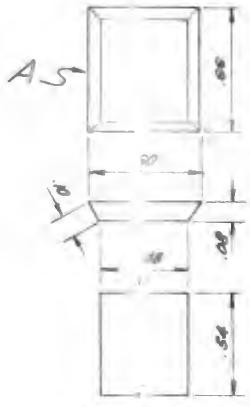
DIBUJO Nº 11

Escala: 1:25

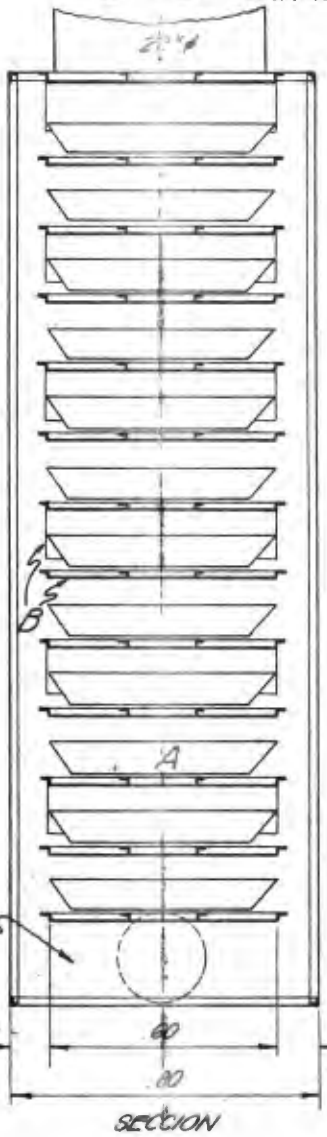


SECCION

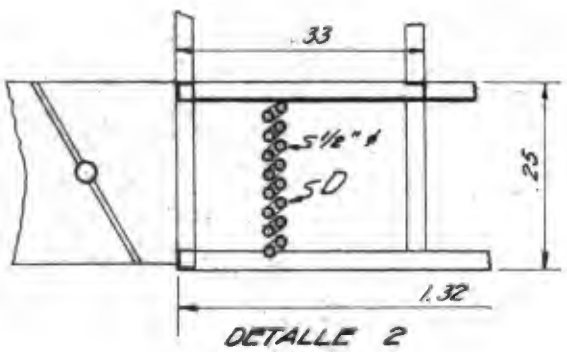
NOTA: Todos serán angulares de 1"x1"



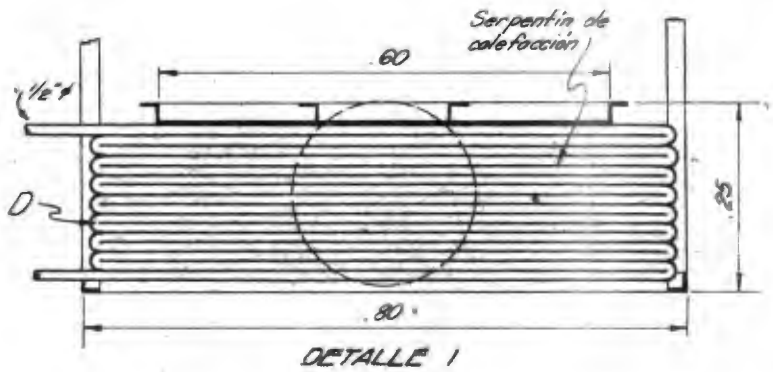
BANDEJA Esc.: 1:40



SECCION



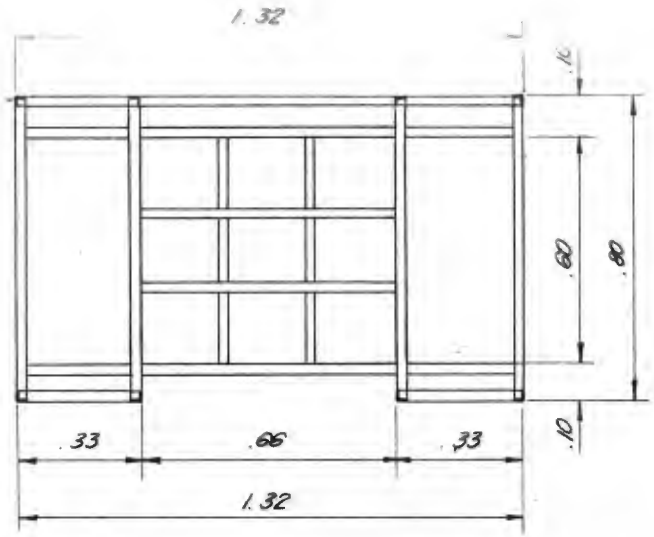
DETALLE 2
Esc.: 1:10



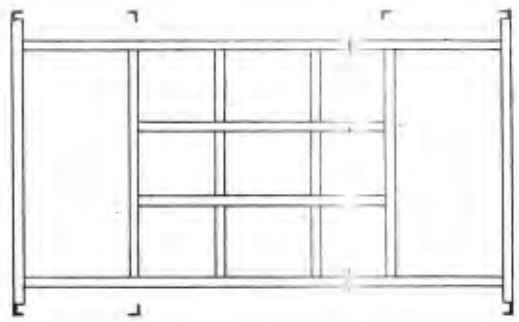
DETALLE 1
Esc.: 1:10

DIBUJO Nº 12

Escala: 1:20

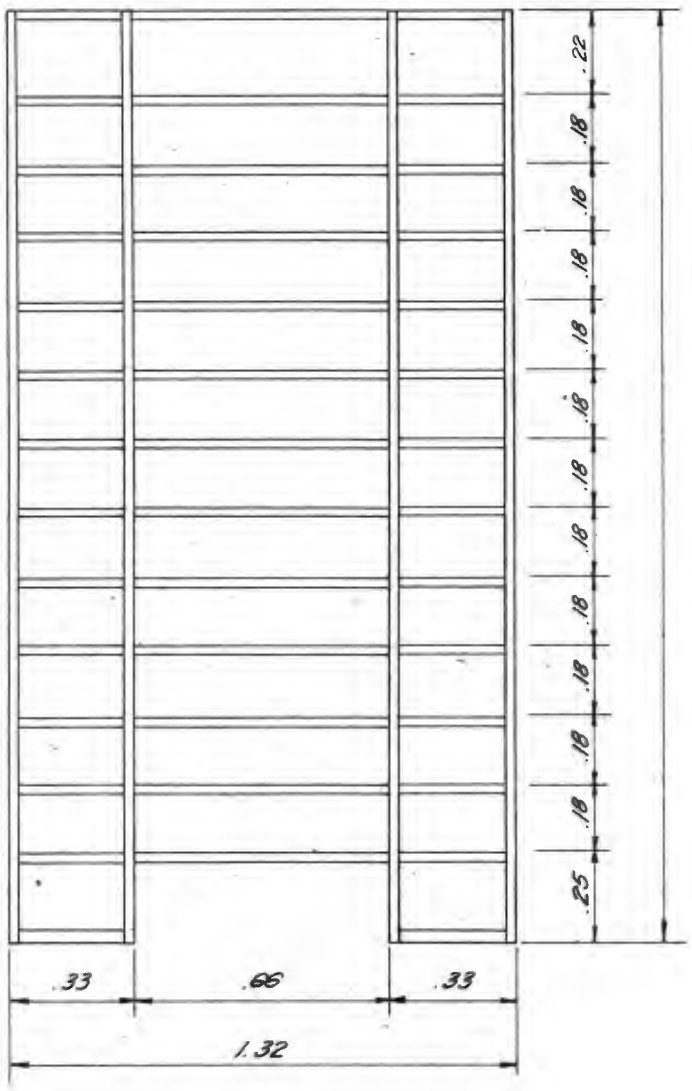


VISTA SUPERIOR



SECCION

NOTA: Todos serán angulares de 1"x1".



ELEVACION

ELEVACION

DIBUJO Nº 13

Escala: 1:20

Cálculo del volúmen del serpentín de calefacción

$\Pi \times r^2 \times l = V$ V = 0.894 litros

Cálculo de la superficie total de calefacción en el serpentín

$2 \Pi \times r \times l = A$ A = 0.8 metros cuadrados

Indice de letras en los dibujos N° 11- 12 y 13.

A = Bandejas

B = Aleta desviadora del aire

C = Soplador centrífugo

D = Serpentín de calefacción

E = Puerta hermética

F = Cierre de la puerta

G = Tubo de salida

Retorta para destilación seca de la madera.

Retorta hecha de un cilindro de acero cortado en la parte superior, con un cierre hermético y con un serpentín de tubo de cobre de 2 pulgadas de diámetro conectado en la parte superior.

Esta retorta estará montada en un horno de ladrillos refractarios hecho especialmente para la retorta y tendrá un quemador de petróleo con una capacidad de 2 galones por hora y de 1/2 Horse Power, dando aproximadamente unas 25.000 Kilo-calorias por hora pero si se considera que se aprovecha un 50% de la energía se obtendrán unas - 12.500 Kilo-calorias por hora aprovechadas para carbonizar la madera.

La retorta tendrá una capacidad de carbonización de 2½ kilos por hora, y podrá albergar un máximo de 50 kilos de madera de peso específico medio de 1.5 suponiendo que la madera gasta un promedio de - 4.800 Kilo-calorias por kilogramo para carbonizarse.

Las dimensiones de la retorta serán 0.20 metros de radio por 1 metro de largo total.

El serpentín tendrá aproximadamente 5 metros de largo en el aire y 10 metros de largo, formando 3 espiras sumergido en el agua de un tanque de 1180 litros de capacidad, quedando la salida del destilado por la parte de abajo.

El tanque de enfriamiento podrá renovar todo el agua en el término de una hora, si se asume la práctica de que en la Ciudad Universitaria, se puede obtener 20 litros por minuto en un tubo de 1 pulgada de diámetro. El tanque de enfriamiento tendrá la entrada de agua en la parte de abajo y la salida en la parte de arriba. Asumiendo que se renuevan 20 litros por minuto de agua, se tiene un aumento de 10.4° C por litro de agua.

El tanque de enfriamiento es de lámina de hierro de 1/4 pulgada, soldada con acetileno y tendrá 1 metro de diámetro por 1.5 metro de alto, con una superficie total de 5.485 metros cuadrados.

Los diseños de la retorta y el horno se encuentran en los dibujos N° 14, 15 y 16.

Cálculos del volúmen de la retorta

$\Pi \times r^2 \times 1 = V$ V = 125600 centímetros cúbicos equivalente a 125.6 litro.

Tomando treinta y tres litros o sea aproximadamente un poco menos de la tercera parte del volúmen total.

$$\frac{33 \text{ litros} \times 1.5 \text{ kilogramos}}{\text{litro}} = 49.5 \text{ Kilogramos}$$

Cálculos de la renovación del agua

20 litros por minuto x 60 minutos = 1200 litros por hora

Volúmen del tanque $V = \pi \times r^2 \times 1$ V = 1180 litros

Cálculo del aumento de temperatura por litro de agua

12.500 Kilocalorías por hora equivale a 208.3 Kilocalorías por minuto

208.3 Kilocalorías por minuto dividido entre 20 litros por minuto produce un aumento de 10.4°C por litro.

Cálculo de la superficie del tanque

2 x 0.5 x 3.14 x 1.5 = 4.7 metros cuadrados

$2 \pi \times r \times 1$ = superficie lateral del tanque $\pi \times r^2$ = Area del círculo

$(0.5 \text{ metros})^2 \times 3.14 = 0.785$ metros cuadrados

Sumando las dos superficies se obtiene 5.485 metros cuadrados

Cálculo del número de espiras del serpentín

$2 \pi \times r$ = circunferencia 0.46 metros x 6.28 = 2.89

$$\frac{10 \text{ metros}}{2.89 \text{ metros}} = 3.46 \text{ espiras}$$

Horno para la retorta

El horno tendrá 1.80 metros de largo por 1.10 metros de ancho y 1.25 metros de alto y paredes de 0.20 metros de ancho con una puerta regulable para el tiro de aire y humos y estará alimentado por un quemador de 2 galones de petróleo por hora con un motor de 1/2 Horse Power.

El horno será de ladrillo refractario neutro de 22 centímetros de largo, por 6 centímetros de grueso y por 10 centímetros de ancho.

Cálculo de los ladrillos y tierra refractaria para el horno

Se asume que un metro cuadrado de pared tiene 166 ladrillos de 22 centímetros x 6 centímetros x 10 centímetros según agentes vendedores.

Paredes laterales 1.25 metros x 1.1 metros x 2 = 2.75 metros cuadrados

Paredes frontales 1.8 metros x 1.25 metros x 2 = 4.50 metros cuadrados

La parte de arriba y el piso que se toma como el doble.

1.8 metros x 1.10 metros x 3 = 5.95 metros cuadrados

Sumando todas las superficies se obtiene 14.29 metros cuadrados 14.29 metros cuadrados x 166 ladrillos por metro cuadrado = 2370 ladrillos, que se le suman 237 agregando un 10% de seguridad se obtiene 2607 ladrillos.

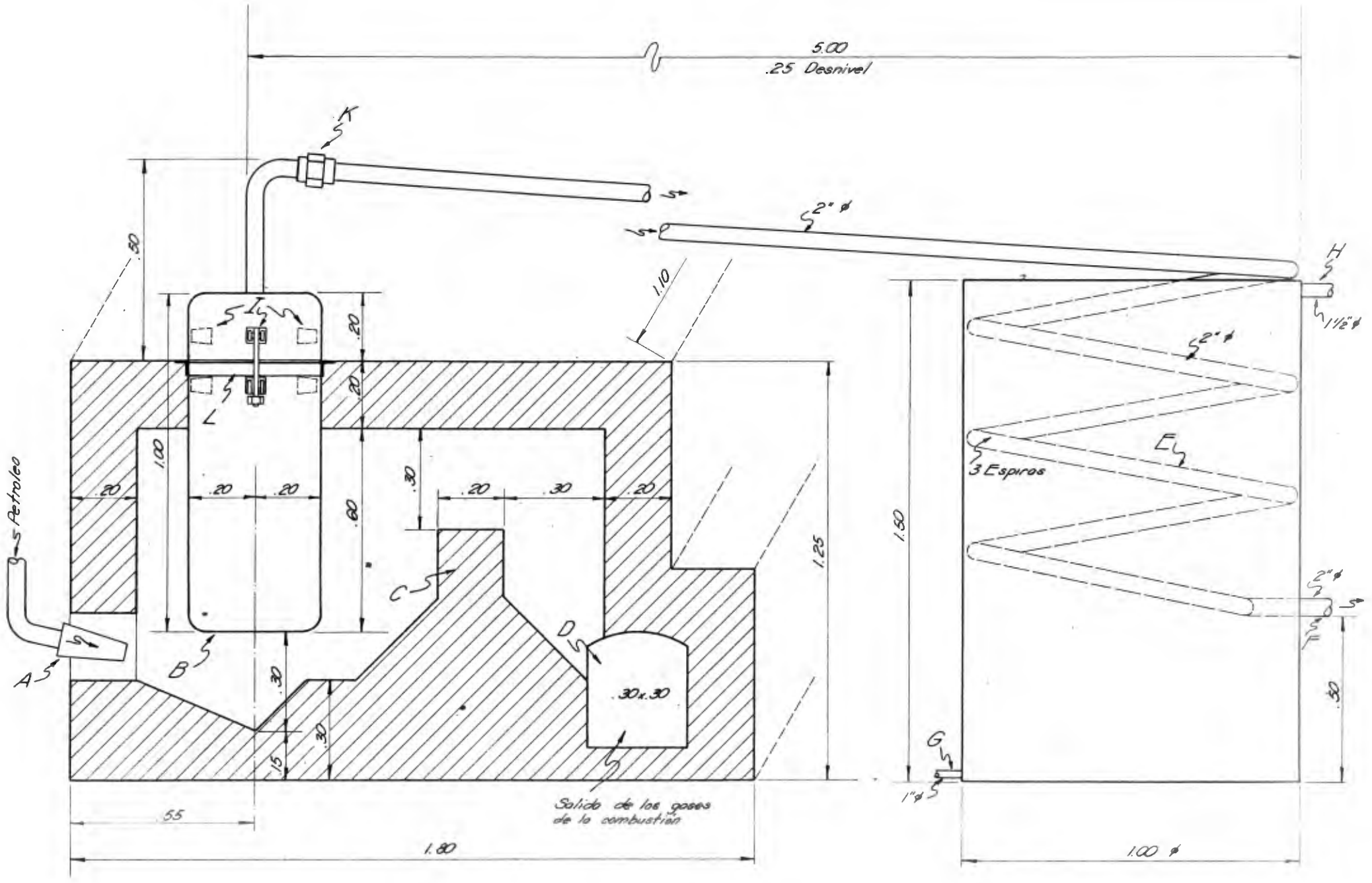
La cantidad de tierra refractaria para pegar los ladrillos y hacer ciertos repellos y rellenos, se calcula como el 20% del volúmen de las paredes en total.

14.29 metros cúbicos x 0.20 = 0.57 metros cúbicos

2.86 metros cúbicos son 3470 pulgadas cúbicas (Ver tabla de Factores de Conversión)

3470 pulgadas cúbicas son 2.05 pies cúbicos (Ver tabla de Factores de Conversión)

2.05 pies cúbicos x 109 libras aproximadamente por pie cúbico = 219 libras de tierra refractaria.



DIBUJO N 14

Escala: 1:15

Indice de letras en los dibujos N° 14, 15 y 16

A = Quemador de petróleo

B = Retorta de destilación

C = Pared de fuego

D = Salida de los gases de la combustión

E = Serpentín de enfriamiento

F = Salida del serpentín de enfriamiento

G = Entrada del agua de enfriamiento

H = Salida del agua de enfriamiento

I = Trancas para el cierre hermético de la tapa

J = Cierre hermético de la tapa

K = Unión del tubo que une la retorta con el serpentín de enfriamiento

L = Sostén de la retorta en el horno

SOPORTE PARA TAGUA DE 1/2 TONELADA

Estará hecho de tubo de una y media pulgada, tendrá 3 metros de largo por 3 metros de alto sus ruedas separadas una de la otra 1.5 metros, son libres con el fin de poder movilizar el soporte en cualquier dirección.

El diseño de este soporte se encuentra en el dibujo N° 17

ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO QUE SE DEBE PEDIR AL EXTRANJERO

Tecle de 1/2 tonelada con motor eléctrico de 1/4 Horse Power, que tenga un gancho para colgarlo del soporte.

FILTRO PRENSA

Este filtro será de 10 placas cuadradas ordinarias y cuadriculadas sobre relieve, hechas de hierro de fundición, con 45 centímetros por lado de superficie aprovechable y con media pulgada de espesor, con cuatro huecos de una pulgada de diámetro para entrada y salida de los líquidos (dos entradas abajo y dos salidas arriba) También tiene 17 marcos y 9 placas lavadoras de 45 centímetros por lado de superficie aprovechable teniendo las placas lavadoras y los marcos 1/2 pulgada de espesor.

La estructura del filtro debe ser de acero y tener una bomba con una presión de salida de 120 libras porpulgada cuadrada, con un motor de 1/2 Horse Power (Experiencia obtenida de la Fábrica de Productos Alimenticios Nacionales S.A.)

Cálculo del filtro

El cálculo se hizo tomando como base la levadura de densidad de 1.115 que contiene 70% de agua y aprovechando una experiencia semi-industrial llevado a cabo en la Fábrica de Productos Alimenticios Nacionales S.A. (única fábrica donde se pudo obtener datos acerca de un filtro prensa) en la cual de 215 Kilogramos de líquido turbio se aprovecharon 15 kilos de levadura.

Para obtener α se usa la fórmula obtenida por Carman

$$(1)\quad \alpha = \frac{5\,(1-p)S^2}{p^3\, g\, (\rho_s - \rho)}$$

α = Resistencia específica de la torta de 1 Kilogramo de sedimento por metro - cuadrado de superficie filtrante.

p = Porosidad del lecho = $\frac{\text{volúmen de los huecos}}{\text{volúmen total}}$

g = Aceleración de la gravedad

ρ = Densidad del sólido (en este caso con 70% de agua)

ρ_s = Densidad del líquido en cuyo seno se encuetran las partículas

S = Superficie específica del material granular = $\frac{\text{metros cuadrados}}{\text{metros cúbicos}}$

$$S = \frac{0.404 \text{ metros cuadrados}}{0.00256 \text{ metros cúbicos}} = \frac{15.8}{\text{metros}}$$

$$g = \frac{9.81 \text{ metros}}{(\text{segundos})^2}$$

$$\rho_s = 1.115 \frac{\text{Kilogramos}}{\text{metros cúbicos}}$$

$$\rho = \frac{1000 \text{ Kilogramos}}{\text{metros cúbico}}$$

$$S^2 = \frac{(15.8)^2}{\text{metros cuadrados}} = \frac{250}{\text{metros cuadrados}}$$

Por la dificultad de encontrar p se hace experimental y se encuentra que $p = 0.042$ y $p^3 = 0.000074 \frac{\text{metros cúbicos}}{\text{metros cúbicos}}$

$$\alpha = 0.0011 \frac{(\text{horas})^2}{\text{Kilogramos}}$$

A partir de α se puede obtener K según la Teoría de Ruth, sobre filtración .

K = Constante de equilibrio del líquido turbio que depende las características del líquido a filtrar.

(1) Vian Angel y Ocon Joaquín "Elementos de Ingeniería Química" (Operaciones Básicas) Pag. 288. Editorial Aguilar S.A. Madrid 1952.

$$K = \frac{2 A^2 P (1 - m s)}{\mu \rho S \alpha} \quad (1)$$

A = Superficie de filtración en metros cuadrados

P = Presión de trabajo $\frac{\text{Kilogramos}}{\text{metro cuadrado}}$

m = Grado de humectación. (Cociente de la torta húmeda recién filtrada y la torta seca)

s = Concentración en sólidos de un líquido turbio. (Kilogramos de sólidos contenidos en el líquido turbio divididos por los kilogramos del total del líquido turbio)

ρ = Densidad del filtrado Kilogramo x 9.81 por metro cúbico

μ = Viscosidad del filtrado Kilogramo por metro hora

α = Resistencia específica de la torta en $\frac{(\text{horas})^2}{\text{Kilogramo}}$

A = 17 x 2 x 0.09 = 3.06 metros cuadrados

P = 0.000845 $\frac{\text{Kilogramos}}{\text{metro cuadrado}}$ (Dato arbitrario tomado de la experiencia)

m = $\frac{1 \text{ Kilogramo}}{0.30 \text{ Kilogramo}}$ = 3.34 $\frac{\text{Kilogramo}}{\text{Kilogramo}}$ (Dato experimental)

α = 0.0011 $\frac{(\text{hora})^2}{\text{Kilogramo}}$

s = $\frac{15 \text{ Kilogramos}}{215 \text{ Kilogramos}}$ = 0.0697 $\frac{\text{Kilogramo}}{\text{Kilogramo}}$

μ = 1 (Si tomamos viscosidad del agua) en $\frac{\text{Kilogramo}}{\text{metro hora}}$

$\rho^{20°C/20°C}$ = 1.0567 $\frac{\text{Kilogramo}}{\text{metro cúbico}}$

(1) Vian Angel y Ocon Joaquín "Elementos de Ingeniería Química" (Operaciones Básicas) Pag. 391. Editorial Aguilar S.A. Madrid 1952.

$$K = \frac{0.01215}{0.0735} = 0.165 \ \frac{(\text{metros})^6}{\text{hora}}$$

A partir de K se puede obtener el volúmen según la fórmula (1) $V = K\Theta$

V = volúmen en metros cúbicos K = constante de equilibrio del líquido turbio.

Θ = tiempo de filtración en horas

$$1 \text{ metro cúbico} = 0.165 \ \frac{(\text{metros})^6}{\text{hora}} \ \Theta$$

$$\Theta = \frac{6.05 \text{ horas}}{\text{metros cúbicos}}$$

La capacidad del filtro será:

$\frac{1000 \text{ litros}}{6.05 \text{ horas}}$ = 165 litros pora hora equivalente a 43.7 galones por hora

(Ver tabla de Factores de Conversión al final)

Bomba para líquidos

Bomba centrífuga para agua

Considerando que muchos de los líquidos que se usarán en el laboratorio tienen densidad y viscosidad muy parecida a la del agua, se calcularán las bombas centrífugas para estos líquidos suponiendo que lo que se va a bombear es agua pura y fría, dando los galones de bombeo en galones americanos de 8.33 libras, pues los catálogos de bombas tipo así lo especifican.

Como referencia se toma la capacidad de uno de los reactores de 300 litros, y tomando el galón americano como 3.78 litros, se obtiene que el reactor tendrá aproximadamente 80 galones y se supone que se desea bombear esa cantidad de líquido en 6 ó 7 minutos lo que corresponde a 12 galones por minuto.

(1) Angel Vian y Ocon Joaquín "Elementos de Ingeniería Química" (Operaciones Básicas) Pag. 280 Editorial Aguilar S.A. Madrid 1952

En el catálogo para bombas (1) las bombas que suben 12 galones por minuto tienen tubería de 1 pulgada de diámetro para la succión y de 3/4 pulgada para la salida.

Suponiendo que el máximo de altura a que subirá el líquido son 20 pies y que los diferentes líquidos que se bombeen tendrá diferentes densidades y viscosidades, se asume que las pérdidas son considerables.

Se supone que la longitud total del tubo es de 40 pies y que el líquido debe ser bombeado de alguna distancia.

En las tablas de fricción (2) se encuentra que las pérdidas en tuberías de 3/4 pulgada para 12 galones por minuto de agua es de un 53%, lo que representa una pérdida de 21.2 pies que sumándolo a los 20 pies de altura que debe subir el líquido, da 41.2 pies, pero como las casas fabricantes solamente hacen bombas tipo, se toma una bomba de 40 pies de altura, que es para 2750 Revoluciones por minuto y 0.35 Horse Power.

Para calcular la fricción de la tubería de esta bomba, no se tomó en cuenta la posibilidad de las pérdidas por codos, por ser relativamente pequeña.

Bombas para líquidos viscosos de ruedas dentadas.

Esta bomba de ruedas dentadas puede usarse para mieles, aceites o cualquier otro líquido viscoso. Como las melazas son muy corrosivas, la bomba debe ser hecha de bronce. Para calcularla se toma como base la melaza de 60 grados Brix con una viscosidad de 230 Seconds Saybolt Universal y con una densidad de 1.29 a (15.5°C) por ser una densidad media, para casi todos los líquidos viscosos que se bombeen en el laboratorio.

(1) Boletín N° 3900-C de Bombas Centrífugas para agua de la Casa Deming Pag.5

(2) Catálogo de Bombas y sistemas de agua de la Casa Jacuzzi Pag. 15

Se asume que se necesita bombear 10 galones por minuto y que la melaza debe subir a 20 pies de altura, tomando 40 pies la longitud total del tubo que tiene 1 pulgada de diámetro, con el objeto de hacer la misma clase de - consideraciones que se hicieron para el cálculo de la bomba centrífuga.

Se encuentra en las tablas (1) que el módulo para 100 pies de tubería de 1 pulgada de diámetro, para 10 galones por minuto con 230 Seconds Saybolt Universal es 12 aproximadamente.

$\frac{40 \times 12 \times 1.29}{100} = 6.2$ libras por pulgada cuadrada (pérdida por fricción en la tubería)

El galón de gravedad específica 1.29 tiene un peso de 10.78 libras por galón y un pie cúbico tiene 7.48 galones.

$\frac{20 \times 7.48 \times 10.78}{144} = 11.2$ libras por pulgada cuadrada

Presión total = 6.2 + 11.2 = 17.4 libras por pulgada cuadrada

17.4 libras por pulgada cuadrada, debe ser la presión de salida.

Sabiendo que 2.31 es el factor de conversión de las libras por pulgada cuadrada a pies de agua :

17.4 libras por pulgada cuadrada x 2.31 = 39.7 pies de agua de altura

$\frac{10 \times 10.78}{2.2} = 49$ Kilogramos 10 x 3.78 = 37.8 litros por minuto

20 pies equivale a 240 pulgadas, que son equivalentes también a 610 centímetros.

Volúmen del tubo de 40 pies = 3.080 litros

$\frac{37.8 \text{ litros por minutos}}{3.080 \text{ litros}} = \frac{12.25}{\text{minutos}}$

$\frac{49 \times 6.10 \times 12.25}{60} = \frac{61 \text{ Kilogramos-metros}}{\text{segundo}}$

$\frac{61}{75} = 0.815$ Caballos Vapor $\frac{75 \text{ kilogramos metros}}{\text{segundo}} = 1$ Caballo Vapor

(Ver tabla de Factores de Conversión al final)

(1) Información sobre bombas para líquidos viscosos del Catálogo de la Casa Geo D. Roper Corporation Pags. 14 y 29.

Se aumenta un 20% de potencia, y se busca en el catálogo una bomba de estas condiciones, como las casas hacen bombas con motores tipo, se escoge la bomba que se acerque más a la potencia obtenida en el cálculo.

Equipo de refrigeración

Se calcula la capacidad del equipo de refrigeración en términos de toneladas diarias de refrigeración, con un equivalente a 288.000 British Thermal Unit por tonelada diaria de refrigeración, o sean 72.576 Kilocalorias, si se toma que cada British Thermal Unit son 0.252 Kilocalorias.

El equipo debe tener tanque para enfriar agua o salmueras, que se pueda enviar por medio de una bomba a las tuberías de enfriamiento, existiendo además algún espacio para instalar recipientes y fabricar hielo.

El intercambio calórico del equipo de refrigeración, debe ser enfriado con agua. Para el cálculo de este propósito se supone que se necesita mantener 600 litros de agua a una diferencia constante de 10°C por hora.

Cálculos

Una tonelada comercial normal de refrigeración es igual a:

2000 libras x 144 British Thermal Unit por libra = 288.000 British Thermal Unit

144 British Thermal Unit por libra a 32 grados Farenheit (0°C) es el calor latente de fusión del hielo puro.

600 litros x 10 Kilocalorias por litro hora = 6000 Kilocalorias por hora

1 Kilocaloría = 1° por litro agua pura (aproximadamente)

6000 Kilocalorias por hora x 24 = 140.000 Kilocalorias por día

$$\begin{array}{r} 140.000 \\ +\ 14.000 \\ \hline 154.000 \end{array}$$ = 10% de seguridad para pérdidas por radiación en tuberías

$$\frac{154.000}{72.576} = 2.12 \text{ toneladas diarias}$$

Como las fábricas hacen equipo tipo, se pide uno de 2 toneladas diarias, con un compresor de 4 cilindros y con un motor de 4 Horse - Power según tablas (1).

Soplador centrífugo de aire

Necesitamos un soplador de aire que nos de 120 pies cúbicos por minuto con motor de 1 Horse Power y una presión estática regulable - entre 3 y 6 libras por pulgada cuadrada a la salida del aire en el - reactor.

Para hacer el cálculo de nuestras necesidades de aire, tomamos la práctica obtenida en la Fábrica de Productos Alimenticios Nacionales - S.A.

En base a fermentación de levadura se necesita 3 veces más volúmen de aire, que el volúmen de líquido que se está fermentando. Por lo tanto se supone que se están haciendo fermentaciones en los dos reactores de 300 litros y en los dos reactores de 150 litros al mismo tiempo, lo que da 750 litros de líquido en fermentación; y si se toma 3 veces más de aire, se tiene 2250 litros aproximadamente, al que se agrega un 50% más para mantener pareja la salida del aire debido a la forma de los serpentines, y así se tienen 3375 litros de aire por minuto, que es equivalente a 120 pies cúbicos por minuto aproximadamente, con un tubo de salida de 4 pulgadas de diámetro y 100 pies de longitud.

Molinos

Uno de los molinos debe ser de martillos, para pulverizar sustancias duras, siempre que estas sean quebradizas y no abrasivas.

(1) Moyer James A. y Fitts Raimond V. "Refrigeración" (Tablas de Unidades compresoras y Refrigeradoras de la Frigidaire Corporation) Pag. 161 Segunda edición Compañía Editorial Continental México S.A. D.F. 1954

Un molino de esta clase puede moler pedazos de 1.5 centímetros de radio aproximadamente y convertirlos en pedacitos que atraviesen una - malla de 200 huecos por pulgada cuadrada, para lo que hay que tener un juego de mallas entre 10 huecos y 200 huecos por pulgada cuadrada para obtener diferentes tamaños según las necesidades.

El molino debe ser pequeño, que pueda moder unas 50 libras por hora, con un motor de 1 Horse Power y con unas 3600 Revoluciones por minuto (Según práctica obtenida personalmente en un molino que tuve en ope - ración en una pequeña fábrica de mi propiedad)

Para materiales abrasivos se recomienda un pequeño molino de bolas, con una capacidad de unas 25 libras por hora, con motor de 1 Horse Power.

Centrífuga continua de discos

Se necesita una centrífuga de discos, con una capacidad de 400 litros por hora tomando como base levadura al 1% y concentrarla al 18% - sólidos. Esta centrífuga puede usarse para separar polvos, emulsiones o suspensiones. Una centrífuga de esta clase es de 5.000 Revoluciones por minuto con una tubería de entrada de 3/4 pulgadas y con un motor de 0.5 Horse Power.

Centrífuga discontinua de canasta filtrante

Esta centrífuga de paños filtrantes se usa especialmente para cristales.

Tomando como base la melaza de azúcar, la centrífuga debe tener una capacidad media de 8 litros, debe ser de acero inoxidable, debe tener de radio interior 0.35 centímetros y de alto 0.25 centímetros, con 3500 Revoluciones por minuto y un motor de 0.5 Horse Power.

Las especificaciones de las dos centrífugas, han sido dadas en base a dos centrífugas del mismo tipo, que se encuentran en operación en la Fábrica de Productos Alimenticios Nacionales S.A. Debido a que el cálculo de las centrífugas es un problema muy complejo y específico en cada operación industrial y nuestro propósito es poder utilizar las centrífugas en múltiples operaciones, fué que recurrimos a la práctica.

Agitadores eléctricos

Se necesitan 2 agitadores eléctricos portables y adaptables a los bordes de los reactores.

Los agitadores deben ser de acero inoxidable con un brazo máximo de 60 centímetros con velocidad variable entre 100 y 1700 Revoluciones por minuto.

Como cada agitador depende de muchos factores, especialmente los líquidos que se agitan, y nosotros necesitamos agitadores para un gran número diferente de líquidos, hemos recurrido a calcular nuestros agitadores en relación a los que ya se encuentran en operación en la Fábrica Nacional de Productos Alimenticios Nacionales S.A.

Cubas electrolíticas

Se necesita 1 cuba estática de plástico o ebonita resistente al calor, que tenga 20 centímetros de ancho por 40 centímetros de largo y 20 centímetros de profundidad.

Una cuba de vidrio de 20 centímetros de ancho, 40 centímetros de largo y 20 centímetros de profundidad.

Una cuba con campana rotatoria de ebonita de 10 litros de capacidad útil, con una velocidad de 20 Revoluciones por minuto y con un motor de 1/4 Horse Power.

Se necesitan también 3 calentadores de inmersión para 110 voltios y 250 watts cada uno, con termo-switch.

Tres rectificadores de placas de selenio variable entre 3 y 20 voltios y de 40 amperes máximo.

Amperímetros para 25 voltios y amperímetros para 50 amperios con divisiones hasta 1/100.

Electrodos de cobre y un juego de metales purificados electrolíticamente.

Nota: Para cada rectificador, habrá un amperímetro y un voltímetro que se encontrarán en un mismo mueble con el rectificador.

Evaporador múltiple

Batería en serie de 3 evaporadores de acero inoxidable, con 13 tubos cortos verticales de acero inoxidable por evaporador, cada tubo de estos es de dos pies de largo por 1/2 pulgada de diámetro, calentados con vapor.

La solución que se evapora se encontrará a un vacío de 26 pulgadas referido a 30 pulgadas barométricos aplicado en el último evaporador por medio de una bomba, que tiene un condensador de gases enfriado por agua.

Para hacer estos cálculos, se supone que se evapora agua pura y que tiene una concentración de sólidos de 5% que se concentrará hasta 50%.

El evaporador debe tener precalentador para calentar la mezcla de alimentación y una bomba para el paso del líquido a través de los evaporadores, con capacidad para 0.44 galones por minuto, asumiendo una presión de trabajo de 1 atmósfera y con un motor de 1 Horse Power.

Por la falta de datos con que trabajar, el cálculo se lleva a cabo como si fuera un solo evaporador para 100 Kilogramos por hora de alimentación evaporando 90 Kilogramos por hora.

Cálculo de la capacidad física de los evaporadores

E = 100 Kilogramos $(1 - \frac{36}{50})$ E = 90 Kilogramos por hora equivalente a 198 libras por hora.

Cálculo de la superficie de calefacción

K = coeficiente total de trasmisión de calor de los 3 evaporadores se asume que es 500 British Thermal Unit por pie cuadrado hora grado Farenheit.

Se considera que el calor específico del agua, se mantiene a 1 British Thermal Unit por librado grado Farenheit despreciando la elevación del punto de ebullición.

La entrada de alimentación será: 125 grados Farenheit

Q = vapor vivo o de calentamiento (libras de vapor por hora)

F = alimentación a evaporar en libras

t_1 = temperatura de alimentación grados Farenheit

t_2 = temperatura de ebullición mezcla de alimentación en grados Farenheit

t_3 = temperatura del vapor vivo o de calentamiento en grados Farenheit

R_1 = calor latente de vaporización a temperatura t_2 British Thermal Unit por libra

R_2 = calor latente de vaporización a temperatura t_3 British Thermal Unit por libra

C_1 = calor específico de la solución de alimentación en British Thermal Unit por libra grado Farenheit

$F \times C_1 (t_1 - t_2)$ = calor que lleva la solución de alimentación a British Thermal Unit por hora

$Q \times r_2 + Q (t_3 - t_2) C$ = calor que lleva el vapor vivo en British Thermal Unit por hora

$E \times R_1$ = calor que sale con el solvente en British Thermal Unit por hora

$F \times C_1 (t_1 - t_3) + Q \times r_2 + Q (t_3 - t_2) = E R_1$

$$Q = \frac{E \times R_1 - F\, C_1\, (t_1 - t_2)}{R_2 + (t_3 - t_2)}$$

$Q = K \times S \times \Delta t$

S = Superficie de calefacción en pies cuadrados

Δt = diferencia de temperatura entre el elemento calentante y el elemento calentado

Temperatura de alimentación = 125 grados Farenheit

Temperatura del vapor vivo = 250 grados Farenheit

C_1 = calor específico de la solución de alimentación = 1 British Thermal Unit por libra grado Farenheit

K = coeficiente total de trasmisión de calor en el evaporador = 500 British Thermal Unit por pie cuadrado hora grado Farenheit

R_1 = calor latente de vaporización de la solución de alimentación = 1200 British Thermal Unit por libra

R_2 = calor latente del vapor vivo = 945.5 British Thermal Unit por libra a un vacío de 26 pulgadas referido a 30 pulgadas barométricas el punto de ebullición del agua es 125 grados Farenheit.

$220\ (125 - 125) + Q \times 945.5 + Q\ (250 - 125) = 198 \times 1022.9$

$Q\ (945.5 + 125) = 207.000$ $\qquad S = \frac{207.000}{500 \times 125} = 3.3$ pies cuadrados

<u>Cálculo de la longitud del serpentín de calefacción de 1/2 pulgada de diámetro para los 3 evaporadores.</u>

$\frac{3.3}{0.131} = 25.26$ pies de longitud del serpentín por cada evaporador

Número de tubos por evaporador

$\frac{25.26}{2} = 12.6 \backsim 13$ tubos por evaporador

Cálculo del gasto calórico del evaporador

$$Q = \frac{E\,R_1 - F\,C_1\,(t_1 - t_2)}{R_2 + (t_3 - t_2)}$$

$$Q = \frac{207.000}{1070.5} = 1930 \text{ British Thermal Unit por hora}$$

1930 British Thermal Unit por hora que equivale a 487 Kilocalorias por hora.

125 grados Farenheit equivale a 31.5 grados centígrados. (Ver tabla de Factores de Conversión al final)

1 grado centígrado por kilogramo por hora equivale a 1 Kilocaloría por hora.

$$31.5 \times 100 = 3150 \text{ Kilocalorias por hora}$$

Sumando todas las Kilocalorias se obtiene 3637 Kilocalorias por hora

Alambique con columna de rectificación.

La columna podrá obtener 10 Kilogramos de alcohol por hora de 95% en peso con un reflujo mínimo de 3.53 y con alimentación de 10.1% en peso de alcohol, a la presión atmosférica de 760 milímetros.

La columna tendrá 18 platos reales incluyendo el calderín y la alimentación entrará en el sexto plato real a una temperatura menor que la de ebullición.

La columna debe tener precalentador para la entrada de alimentación.

La refrigeración del condensador de reflujo será con aire y la del condensador refrigerante será con agua.

Cálculos de la columna

Para hacer los cálculos se comenzó basándose en las fermentaciones efectuadas en la Fábrica Nacional de Licores, que son iniciadas con 18% de azúcar por peso, lo que teoricamente da que 100 Kilogramos de alcohol puro de densidad 0.794 a 15°C y un resíduo con una concentración de 0.001 moles.

100 Kilogramos de fermento producen 9.2 Kilogramos de alcohol y 8.8 Kilogramos de CO_2

$9.2 - 8.8 = 18$ Kilogramos $\quad 100 - 18 = 82$ Kilogramos

$\frac{9.2}{0.046} = 200$ moles alcohol $\quad \frac{82}{0.018} = 4555$ moles agua

$200 + 4555 = 4755$ moles de mezcla $\quad \frac{200 \times 100}{4755} = 4.21$ alcohol

Porcentaje de alcohol por peso

$100 - 8.8 = 91.2 \quad \frac{9.2 \times 100}{91.2} = 10.1\%$

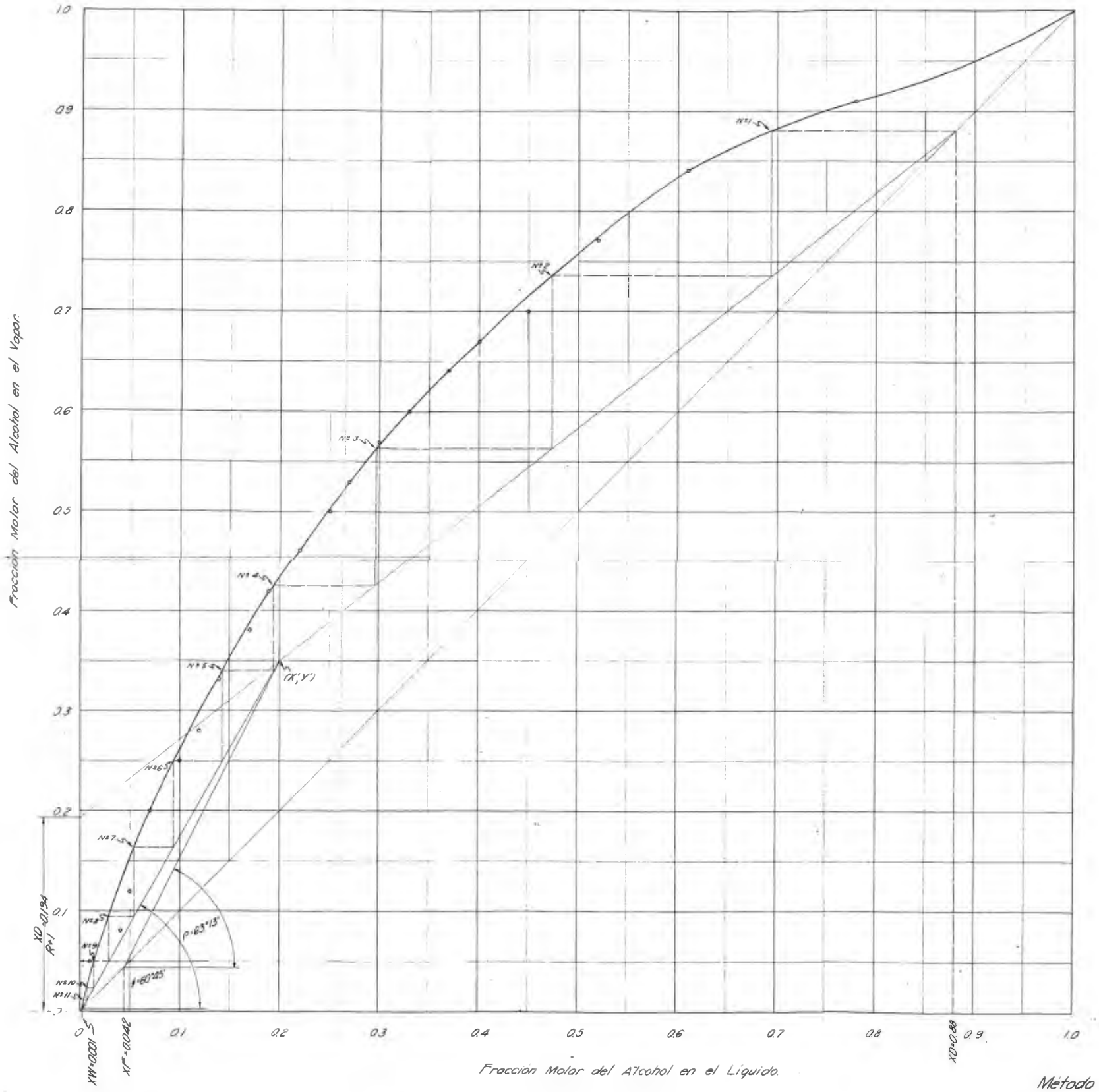
Destilado de alcohol $\frac{10000 \times 0.95}{46} = 206.5$ moles

Destilado de agua $\quad \frac{10000 \times 0.05}{18} = 27.7$ moles

Caudal destilado $\quad 206.5 + 27.7 = 234.2$ moles

$$X_D = \frac{206.5}{234.2} = 0.888 \text{ moles}$$

Por la falta de datos se asume que la alimentación entra a temperatura menor que la de ebullición, y por tanteo se obtiene $X' = 0.2$ y $Y' = 0.35$, punto por donde se hace pasar la recta operatriz superior.



y = 1.0	x = 1.0
y = 0.91	x = 0.78
y = 0.84	x = 0.61
y = 0.77	x = 0.52
y = 0.7	x = 0.45
y = 0.67	x = 0.4
y = 0.64	x = 0.37
y = 0.6	x = 0.33
y = 0.57	x = 0.30
y = 0.53	x = 0.27
y = 0.5	x = 0.25
y = 0.46	x = 0.22
y = 0.42	x = 0.19
y = 0.38	x = 0.17
y = 0.33	x = 0.14
y = 0.28	x = 0.12
y = 0.25	x = 0.1
y = 0.2	x = 0.07
y = 0.12	x = 0.05
y = 0.08	x = 0.04
y = 0.05	x = 0.01
y = 0	x = 0

XD = 0.88
X' = 0.2
XF = 0.042
XW = 0.001
Y' = 0.35

$Y = \frac{XD}{R+1} = 0.194$

Tangente ϕ = 1.78 ϕ = 60°45'
Tangente ρ = 1.98 ϕ = 63°13'

Método grafico de McCabe-Thiele

Para obtención de los platos teóricos en los columnas de rectificación.

DIBUJO Nº 18

Escala: 1:2,5

$$\frac{L}{V} = \frac{x_D - Y'}{Y' - X'} = \text{Relación de reflujo mínimo}$$

$$\frac{L}{V} = \frac{0.88 - 0.35}{0.35 - 0.2} = 3.53$$

$$Y = \frac{x_D}{R + 1} = 0.194$$

Del gráfico se obtiene $\beta = 60°45'$ y $\rho = 63°13'$

Cálculo de los platos teóricos

Se usa el método de McCabe Thiele y se obtiene según el gráfico que se encuentra en el dibujo N° 18, 11 platos teó - ricos, con entrada de alimentación en el plato teórico N° 4

Tablas de las presiones de vapor en milímetros de mercurio del alcohol y agua

Muchos de los valores de la presión parcial del alcohol que están en esta tabla, son interpolados por no poderse obtener, por lo tanto - son aproximados.

GRADOS CENTIGRADOS	PRESION EN MILIMETROS DE MERCURIO	PRESION EN MILIMETROS DE MERCURIO
	Alcohol	Agua
78.3	760	328.6
79	888	341
80	1069	355.1
81	118.3	369.7
82	1167.6	384.9
84	1266.2	416.8
85	1315.6	433.6
86	1364.8	450.9
87	1414.1	468.7
88	1463.4	487.1
89	1512.7	506.1
91	1628.6	546
92	1695.2	566.9
93	1761.8	588.6
94	1828.4	610.9
95	1895	633.9
96	1961.6	657.6
97	2028.2	682
98	2094.4	707.2
99	2161.4	733.2
100	2228	760

Ecuaciones para el cálculo de las fracciones molares de alcohol en el líquido x en el vapor.

pA = presión de vapor del agua en milímetros de mercurio

pB = presión de vapor del alcohol en milímetros de mercurio

pBX = pA = pAX = 760 milímetros

$$X = \frac{760 - pA}{pB - pA} \qquad y = \frac{X \times pB}{760}$$

X = 1	y = 1	X = 0.07	y = 0.20
X = 0.78	y = 0.91	X = 0.05	y = 0.12
X = 0.61	y = 0.84	X = 0.04	y = 0.08
X = 0.52	y = 0.77	X = 0.01	y = 0.05
X = 0.45	y = 0.7	X = 0	y = 0
X = 0.40	y = 0.67		
X = 0.37	y = 0.64		
X = 0.33	y = 0.6		
X = 0.30	y = 0.57		
X = 0.27	y = 0.5		
X = 0.22	y = 0.465		
X = 0.19	y = 0.42		
X = 0.14	y = 0.33		
X = 0.12	y = 0.28		
X = 0.1	y = 0.25		

Cálculo del gasto calórico en la columna de rectificación

Para estos cálculos se asume primero, que la destilación es contínua, segundo, que en el resíduo no existe concentración alguna de alcohol y tercero que la alimentación entra a 75 grados centígrados y el reflujo es 3.53.

Los cálculos se basarán en un Kilogramo de alcohol por hora multiplicándose luego por 10.-

$$R = \frac{1 \times 75 - 0}{10.1 - 0} = 9.4 \text{ Kilogramos por hora}$$

A = Residuo de la sección inferior de la columna

A = 9.4 - 1 = 8.94 Kilogramos por hora

= calor molar de vaporización del destilado que es igual al reflujo

Etanol = 208 Kilocalorias por Kilogramo

Agua = 540 Kilocalorias por Kilogramo

$\frac{95}{100} \times 208 + \frac{5}{100} \times 540 = 224.6$ Kilocalorias por Kilogramo

Q_R = calor de reflujo en Kilocalorias por hora

Q_K = calor cedido a la condensación del producto en Kilocalorias por hora

R = cantidad de destilado en Kilogramos por hora

i_{BS} = entalpía del destilado a punto de ebullición

(i_{BS} se encuentra en un gráfico de entalpías)

i_{BS} = 60 Kilocalorias por Kilogramo

A = cantidad de resíduo de la sección inferior de agotamiento de la columna de rectificación

i_A = entalpía del resíduo de la sección inferior de agotamiento de la columna de rectificación. (i_A se busca en un gráfico de entalpías)

M = Alimentación

iM = entalpía de la alimentación en Kilocalorias por Kilogramo

(iM se busca en el gráfico de entalpías)

iM = 72 Kilocalorias por Kilogramo

Q_R = 1 x 3.53 x 224 = 792.80

Q_K = 1 x 224.6 = 224.60

EiES = 1 x 60 = 60.00

AiA = 8.94 x 104 = 930.00

Total = 2007.4 Kilocalorias por hora

MiM = 9.4 x 72 = - 675 Kilocalorias por hora

2007.4 - 675 = 1332.4

1332.6 x 10 = 13.32 Kilocalorias por hora

Asumiendo 1 Kilocaloría por cada grado centígrado y por Kilogramo por hora en la mezcla de alimentación y suponiendo que la mezcla se comienza a calentar a partir de 20 grados centígrados hasta 75 grados centígrados

100 x 75 = 7500 Kilocalorías por hora

100 x 20 = 2000 Kilocalorias por hora

7500 - 2000 = 5500 Kilocalorias por hora

13324 + 5500 = 18824 Kilocalorias por hora

18824 + 1882.2 (10% más para pérdidas por radiación

= 20706.4 Kilocalorias por hora

SUMINISTRO DE VAPOR

Se recomienda que no se ocupe una caldera para el suministro de vapor, pues puede utilizarse un generador de vapor de serpentín, ya que la demanda de vapor del laboratorio no dura las 24 horas del día y el generador de vapor puede levantar presión pocos minutos después de que ha sido encendido.

Si las necesidades de vapor en un futuro se hicieran mayores, se puede agregar otro generador de la misma capacidad.

Cálculo del generador de vapor

Para hacer el cálculo del generador que se necesita se toma como base el aparato que tenga más necesidade de calor por hora, siendo este la columna de rectificación.

Se sabe que para la columna de rectificación se necesitan 20706.4 Kilocalorias por hora y sabiendo que 641.3 Kilocalorias por hora = Horse Power.

Entonces se tiene que:

$$\frac{20706.4}{641.3} = 32.2 \text{ Horse Power útiles}$$

Como las casas fabricantes hacen ciertos generadores tipo, y existen otras demandas de vaporal mismo tiempo, se recomienda un generador de 40 Horse Power útiles el cual puede dar presiones de vapor entre 65 y 195 libras por pulgada cuadrada.

Este generador puede dar 858 libras por hora de vapor, en tuberías de 1¼ pulgada de diámetro.

Este generador tiene un quemador para 12 galones por hora, que funciona con un motor eléctrico de 1½ Horse Power.

TALLER DEL LABORATORIO

Este taller es para trabajar planchas hasta de 1/2 pulgada de grueso, lámina hasta 1/4 pulgada de grueso y tubos hasta 1 pulgada de diámetro, de hierro, acero inoxidable, bronce, cobre y aluminio.

Máquinas necesarias

1 torno de 6 pulgadas de volteo por 4 pies entre puntas con todos los aditamentos

1 dobladora de tubos

1 dobladora de láminas

1 guillotina

1 esmeril circular 3000 Revoluciones por minuto

1 soldadora de acetileno de 12 libras de carga de carburo

1 soldadora eléctrica de generador para 300 amperios con motor de 15 Horse Power

1 taladro de banco para brocas de 3/4 pulgadas máximo

1 banco grande para trabajar

Herramientas

Tijeras para cortar lámina

Cortadora de tubos

Limas, brocas, tarrajas y machos entre 1/8 pulgada y 1 pulgada

Prensas de banco

Taladros manuales, martillos, cinceles, puntos y marcos de sierra

Este taller fué especificado de acuerdo con la práctica que se obtuvo al equipar los talleres mecánicos de la Escuela de Capacitación Industrial en San José.

Especificaciones para el montaje del equipo

Se recomienda que el edificio sea de acero del tipo modular (edificio de dimensiones definidas) prefabricado, pues debido a que es en secciones, el edificio puede aumentar su tamaño en el momento que sea necesario.

Para las necesidades actuales se necesitan 800 metros cuadrados de superficie, en un edificio de 40 metros de largo por 20 metros de ancho.

El piso debe ser de cemento pulido o de mosaico, con el objeto de poder lavar bien las sustancias químicas que se derramen.

En las secciones que tienen desagues el piso debe de estar ligeramente inclinado hacia los desagues.

Los desagues tienen 20 centímetros de ancho x 20 centímetros de profundidad y van tapados con una rejilla metálica con salidas hacia la pared.

El equipo que no es portátil debe estar fijo al piso, el equipo que lleva motores y vibraciones deben de tener entre el aparato y el piso tacos de hule con el objeto de amortiguar la vibración.

El equipo que lleva motores con vibración es el siguiente:

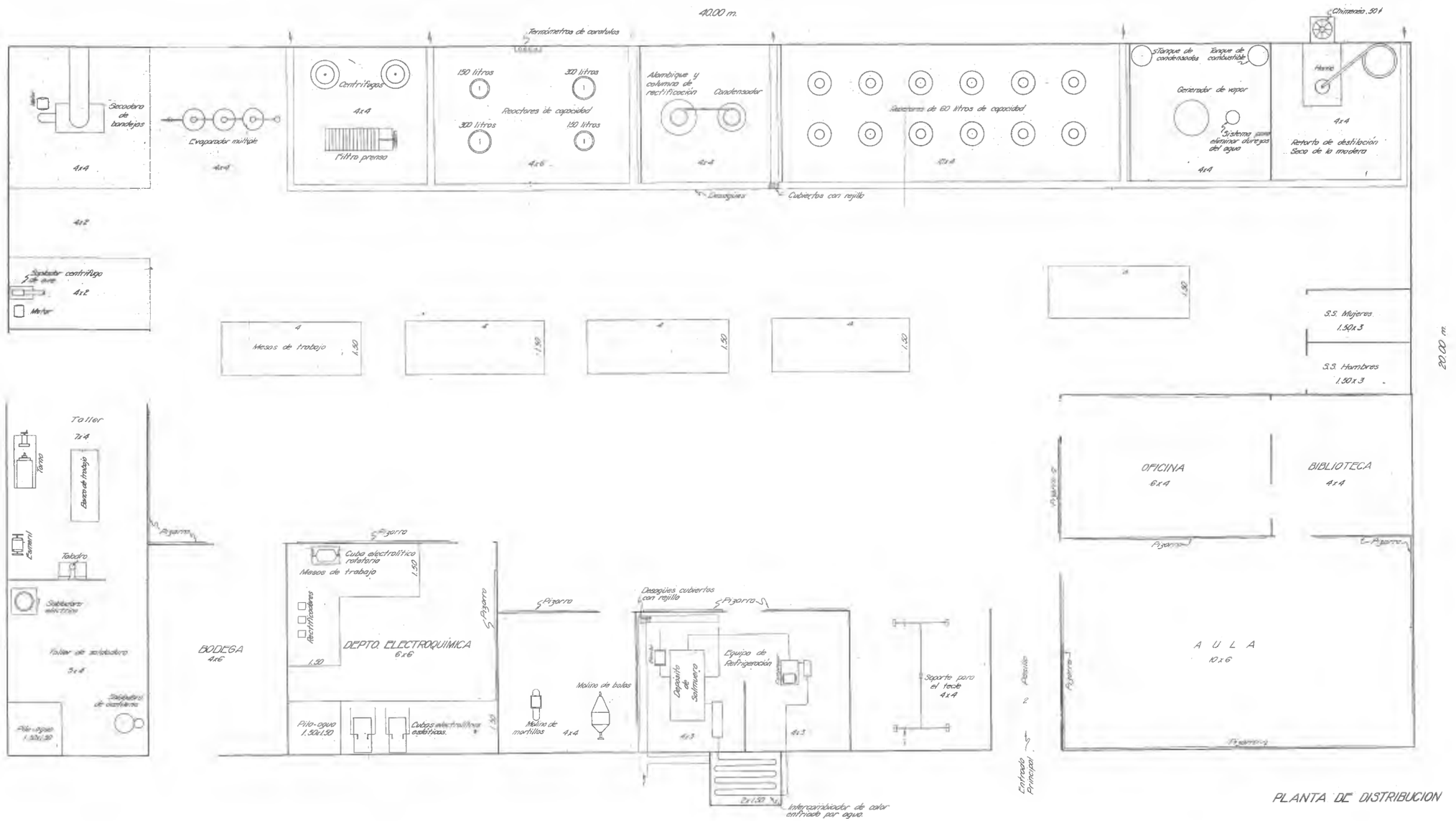
Soplador centrífugo de aire, secadora de bandejas, molinos, compresor del equipo de Refrigeración.

El tubo de salida del aire de la secadora de bandejas, debe atravesar la pared, con el fin de que el aire húmedo y caliente salga fuera del edificio y no invada el interior de éste.

Las carátulas de los termómetros de los reactores estarán colocados en un tablero junto a la pared, a una altura de 1.70 metros donde se pueda leer sin dificultad.

La retorta para la destilación seca de la madera estará sobre el horno construído especialmente para ella, con una chimenea que debe estar fuera del edificio y con una altura un poco mayor que el edificio, para que los humos no sean arrastrados por el viento y entren al mismo.

El departamento electroquímico tendrá una pequeña pila de agua, donde lavar las cubas electrolíticas.



PLANTA DE DISTRIBUCION

DIBUJO N° 19

Escala: 1:50

El intercambiador de calor del equipo de refrigeración se encuentra fuera del edificio sobre una torre especialmente hecha para esto.

El taller estará dividido en dos partes, una para el trabajo de banco y torno y la otra parte para soldar, en ésta existirá una pequeña pila para agua.

El tanque de combustible para el generador de vapor, servirá también para darle combustible al quemador del horno de la retorta para destilación seca de la madera.

En el centro del edificio se encontrarán mesas de trabajo para el equipo y para análisis de los productos de los procesos químicos industriales que se estén llevando a cabo.

En diferentes paredes del edificio existirán pizarras.

El taller, la bodega, el departamento electroquímico, los molinos, el equipo de refrigeración, la oficina, la biblioteca y el aula serán compartimentos completos.

El alambique y columna de destilación y el generador de vapor tendrán dos paredes una a cada lado para aislarlos de los otros aparatos.

El diseño de este montaje puede apreciarse en el dibujo N° 19.

DISTRIBUCION DE NECESIDADES ELECTRICAS, APARATOS PARA EXTRAER GASES Y RENOVAR EL AIRE

Por usarse mucho en la industria motores trifásicos, se recomiendan líneas trifásicas de 120-208 voltios, pues de una de las fases con el neutro se puede obtener 120 voltios para los motores monofásicos e iluminación.

Un dato aproximado de las necesidades eléctricas sería el siguiente:

Soplador centrífugo de la secadora de bandejas 6.5 Horse Power

Bomba de vacío del evaporador múltiple 1 Horse Power

Bomba centrífuga para el paso del líquido a través del evaporador 1 Horse Power

2 Centrífugas 1/2 Horse Power cada una 1 Horse Power

Bomba centrífuga de filtro prensa 0.5 Horse Power

Bomba centrífuga del tanque de condensados de vapor 0.25 Horse Power

Bomba centrífuga para la alimentación de la columna de rectificación 0.50 Horse Power

Bomba del tanque de combustible 0.25 Horse Power

Quemador del generador de vapor 1.5 Horse Power

Quemador del horno de la retorta de destilación seca de la madera 0.5 Horse Power

Compresor de aire 1 Horse Power

Motor de la cuba electrolítica rotatoria 0.25 Horse Power

2 Molinos 1 Horse Power cada uno 2 Horse Power

Bomba centrífuga para la circulación de la salmuera fría o agua fría 0.5 Horse Power

Compresor del equipo de refrigeración 4 Horse Power

Torno 0.5 Horse Power

Taladro 0.5 Horse Power

Esmeril 0.25 Horse Power

Soldadora 15 Horse Power

3 tomas de 1/2 Horse Power cada una y una de 1 Horse Power para las bombas centrífugas, bombas de ruedas dentadas y tecle de 2.5 Horse Power.

13 abanicos para sacar gases y renovar el aire de 1/4 Horse Power cada uno 3.25 Horse Power.

Total: 43.75 Horse Power

$$\frac{43.75 \text{ Horse Power} \times 0.746 \text{ Kilovatios}}{\text{Horse Power}} = 32.2 \text{ Kilovatios}$$

Para las cubas electrolíticas y aparatos usados en el departamento electroquímico hay 10 tomas de 1.000 Vatios cada una = 10 Kilovatios.

Para la iluminación de todo el edificio es necesario 20 Vatios por metro cuadrado; como son 800 metros cuadrados es necesario 16 Kilovatios.

Total en Kilovatios: 58.2 Kilovatios

Sistema 120/208 Voltios tres fases y cuatro hilos

Carga aproximada de los motores	44 kva	demanda 44 x 0.3	13.2 kva
Carga aproximada de iluminación	16 kva	demanda	16.0 kva
Otras cargas aproximadas	10 kva	demanda 10 x 0.3	3.0 kva
		demanda total =	32.2 kva

Amperios totales $a = \frac{32.200}{208\sqrt{3}} = 89.5$ amperios

Amperios para los tres circuitos de iluminación

$a = \frac{16.000}{208\sqrt{3}} = 44.5$ amperios $\qquad \frac{44.5}{3} = 14.85$ amperios por circuito

Se necesita usar conductores #8 AWG para 20 amperios, en los circuitos de iluminación.

Amperios para los dos circuitos de motores

$89.5 - 44.5 = 45$ amperios $\qquad \frac{45}{2} = 22.5$ amperios por circuito

Se necesita usar un conductor #6 AWG para 30 amperios, en los circuitos para motores.

Tamaño mínimo del alimentador y del disyuntor general

$$89.5 \times 1.5 = 134 \text{ amperios}$$

Es necesario 4 conductores alimentadores #0 AWG, para 150 amperios y un disyuntor general de 150 amperios.

Las instalaciones eléctricas deben ser hechas en tubo conduit y en las zonas donde hay gases inflamables, tales como en la columna de rectificación, en el cuarto del equipo de refrigeración y en el cuarto de molinos, las instalaciones deben ser hechas a prueba de explosión.

El centro de control de carga, se encuentra situado en la pared exterior del departamento electroquímico.

Tiene un disyuntor general de ciento cincuenta amperios, alimentado por cuatro hilos, es de tres fases y 120/208 voltios de corriente alterna de 60 ciclos por segundo.

El disyuntor general tiene 6 disyuntores: tres, de veinte amperios para la iluminación; dos, de treinta amperios, para motores; y uno libre, para otras eventualidades.

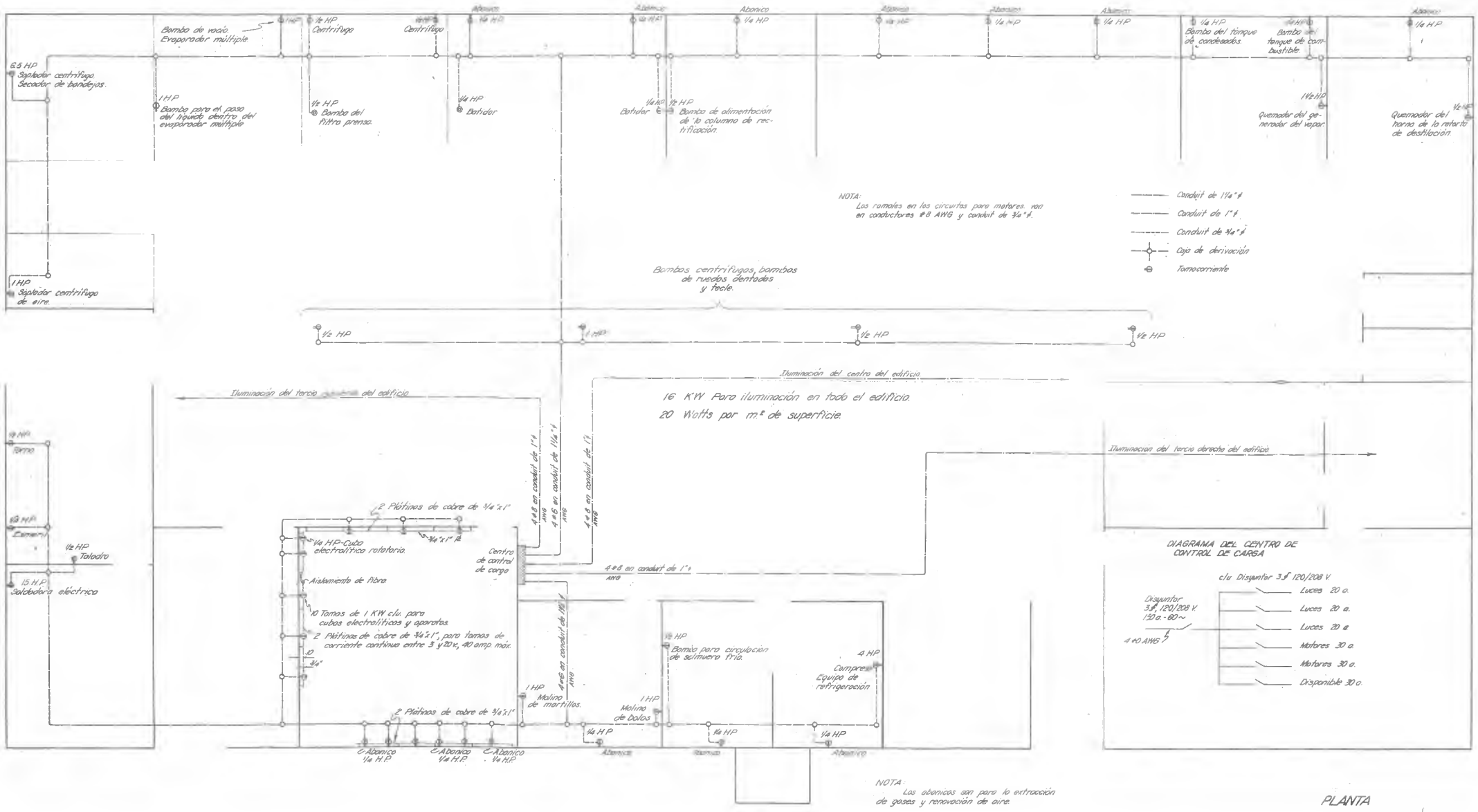
De los tres disyuntores para iluminación, uno es para el tercio derecho del edificio, otro para el tercio izquierdo y el otro para la parte central.

Los dos disyuntores para motores, se reparten el total de los motores del edificio.

Los conductores para iluminación son cuatro hilos # 8 AWG y van en conduit de pulgada y cuarto de diámetro y ramales con hilos #8 AWG que van en conduit de tres cuartos de pulgada de diámetro.

Nota: No se especifica el lugar de entrada de la alimentación, porque eso está hecho de acuerdo con la ubicación del edificio y las líneas eléctricas exteriores.

Para la iluminación del edificio se recomienda dar 5 lux de iluminación general, con iluminación suplementaria sobre las mesas de trabajo, -



PLANTA

Distribución eléctrica, renovación de aire y extracción de gases.

DIBUJO Nº 20

Escala: 1:50

que se determinará una vez concluída la instalación debido a que depende de muchos factores, tales como reflejo, altura de la ilumina - ción, tipo de trabajo que se hace, etc.

Para la extracción de gases y renovación del aire dentro del laboratorio, se instalarán pequeños abanicos en las paredes exteriores, especialmente en los departamentos o sitios donde existen gases o polvos peligrosos para la vida humana.

En el resto del edificio la ventilación será natural.

Se necesita poner ventiladores en los siguientes lugares:

2 abanicos para el sitio de los reactores de 300 y 150 litros de capacidad total.

1 abanico en el sitio de la columna de rectificación

3 abanicos en el sitio de los reactores de 60 litros de capacidad total

1 abanico en el sitio de la retorta para destilación seca de la madera

3 abanicos en el departamento electroquímico

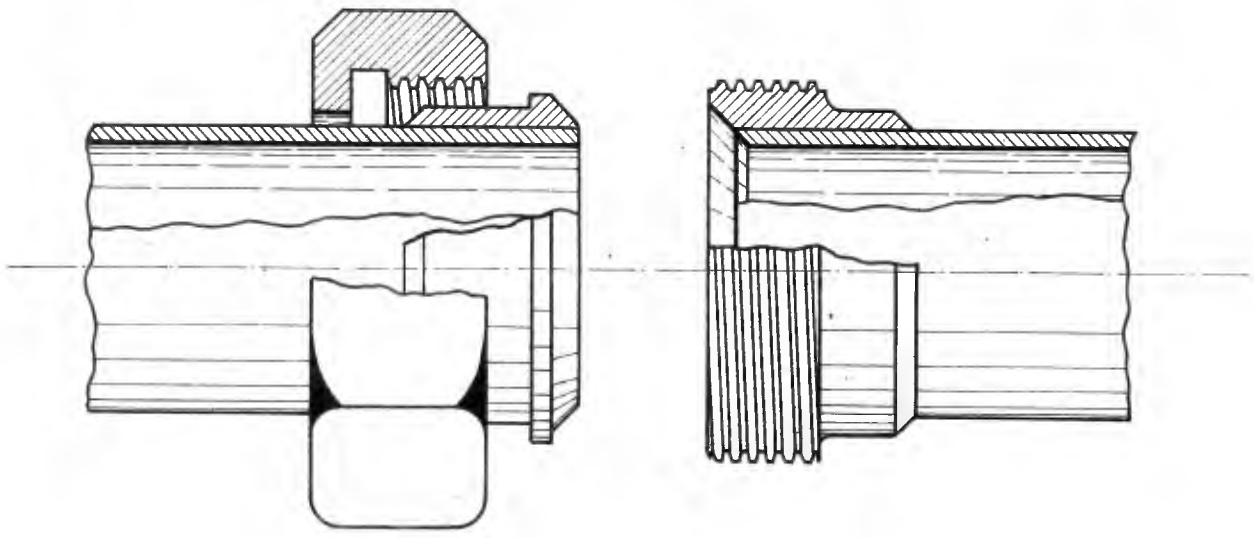
1 abanico en el cuarto de molinos

2 abanicos en el cuarto del equipo de refrigeración

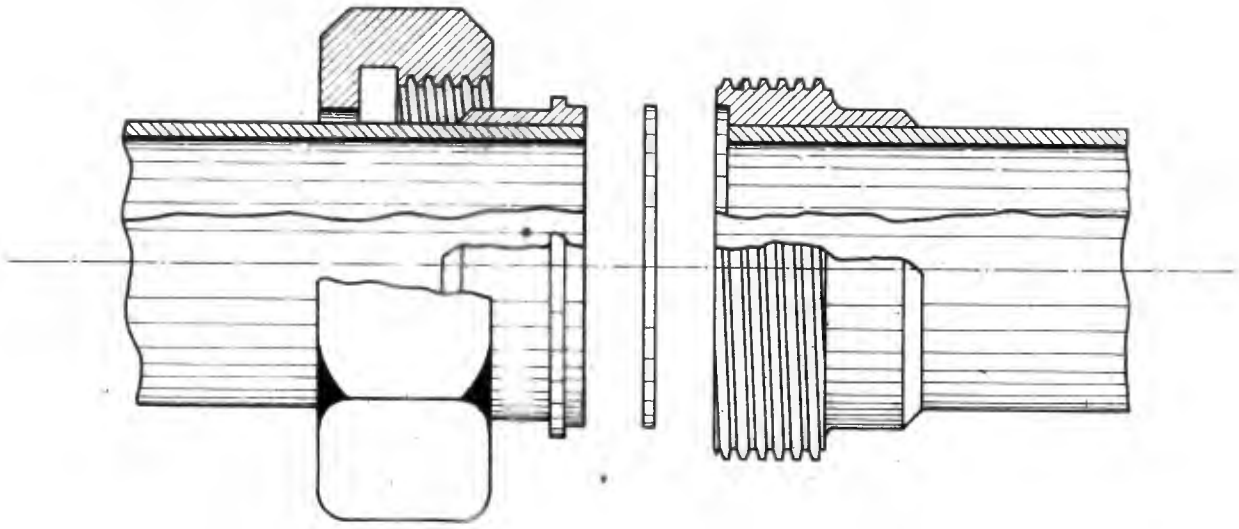
En total debemos instalar 13 abanicos repartidos en diferentes partes del edificio.

La capacidad de los abanicos se determinará una vez concluída la - instalación, pues estos dependen de varios factores, tales como volúmen del cuarto, necesidad de eliminar los gases a una determinada velocidad, por ejemplo en el departamento electroquímico, o eliminar polvos en el - cuarto de molinos, etc.

La distribución de las necesidades eléctricas y de abanicos se encuentran en el dibujo N° 20



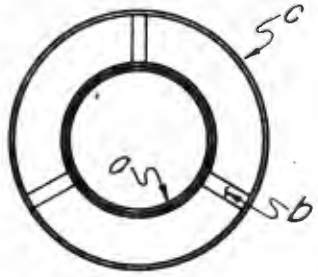
Nº 1



Nº 2

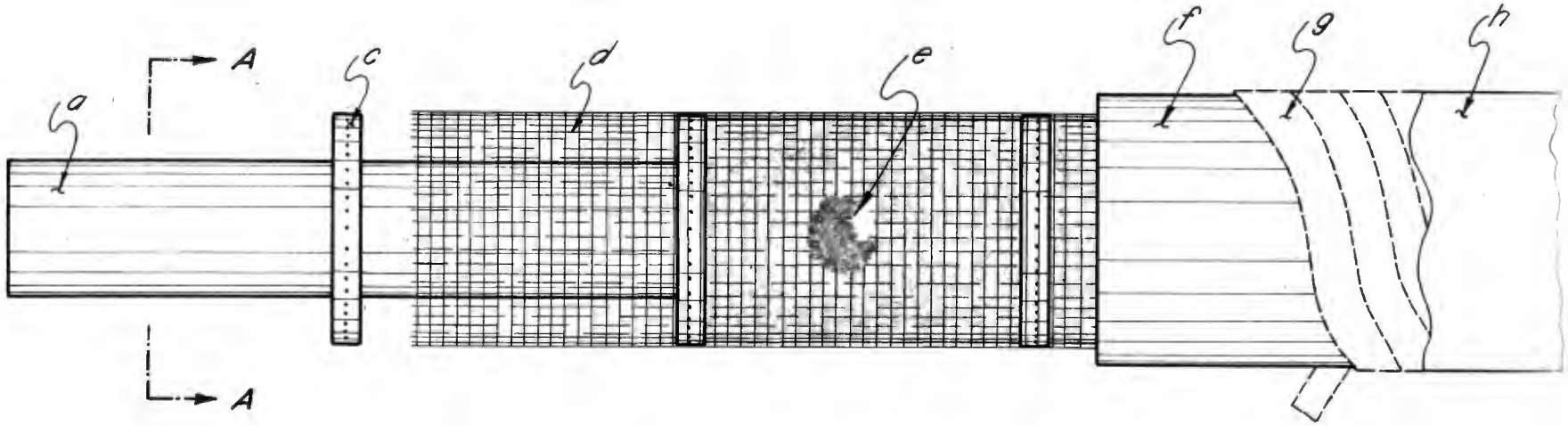
DIBUJO Nº 21

Escala: 2.5:1



SECCION
A-A

a Tubo desnudo.
b Apoyos angulares.
c Soportes distanciadores
d Tela metálico.
e Relleno suelto.
f Manto duro.
g Vendajes.
h Pinturo a loco.



TUBO CON AISLAMIENTO

DIBUJO Nº 22

Sin Escala

ESPECIFICACIONES PARA LOS TUBOS Y LLAVES USADOS EN LA INTERCONEXION VARIABLE DEL EQUIPO DURANTE LAS OPERACIONES

Se usarán tubos de acero inoxidable con uniones tipo sanitario entre 1/4 pulgada, 1/2 pulgada, 3/4 pulgada y 1 pulgada y las llaves serán llaves de compuerta hechas de bronce.

Para las conexiones de la tubería se usarán 2 tipos, una de asiento de chaflán y la otra de asiento de empaque, que se muestran en el dibujo N° 21.

Indice de números en el dibujo N° 21

N° 1 = Asiento de chaflán

N° 2 = Asiento de empaque

ESPECIFICACIONES PARA LOS TUBOS Y LLAVES DE LOS DIFERENTES FLUIDOS

Agua y aire

Se usará tubos de hierro galvanizado, con llaves de compuerta hechos de bronce.

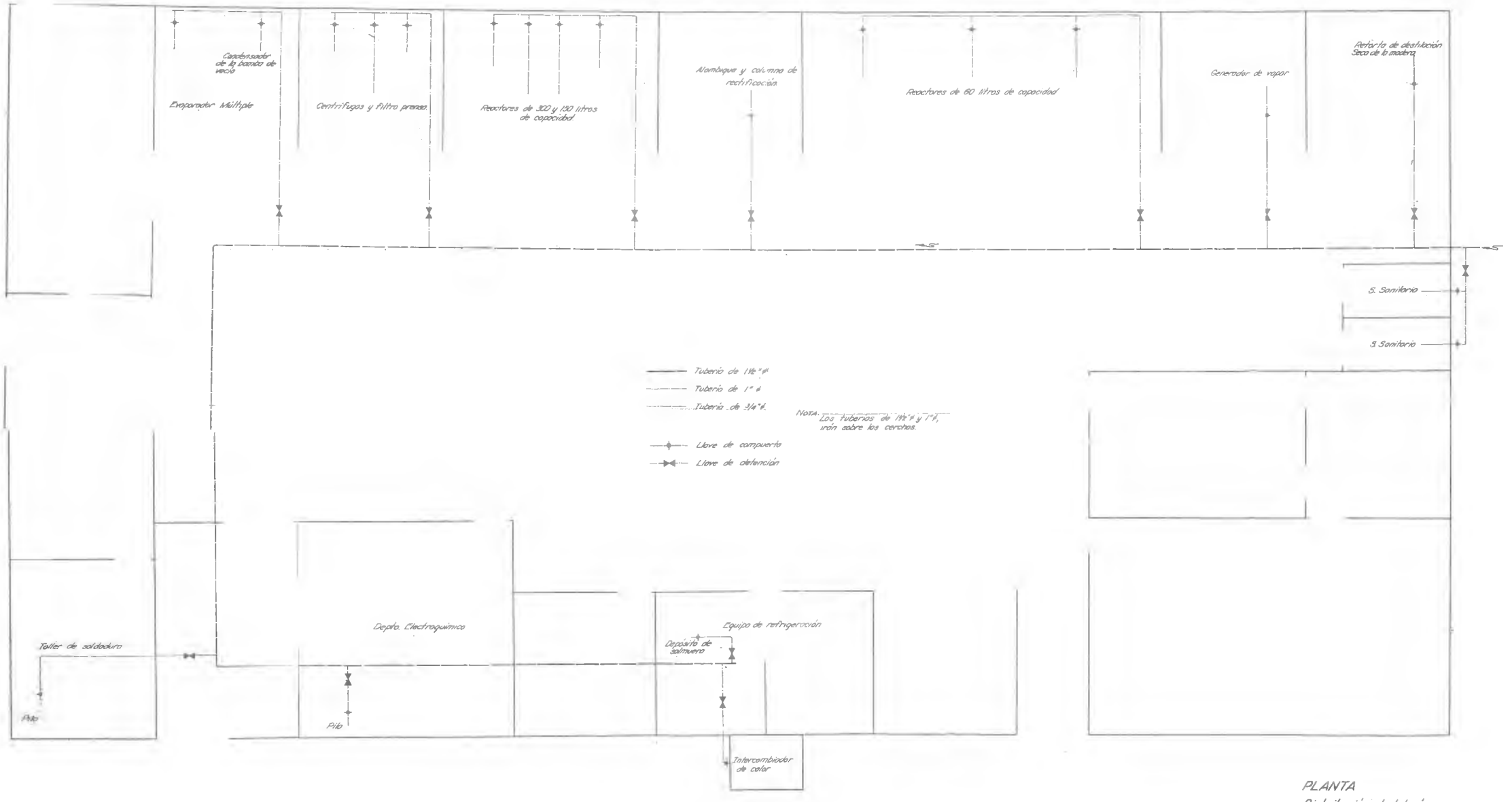
Salmuera

Para salmuera se usa acero inoxidable con llaves de compuerta de bronce para 150 libras por pulgada cuadrada.

Vapor

El vapor necesita usar tubos de hierro negro, y llaves de globo de bronce para 250 libras por pulgada cuadrada.

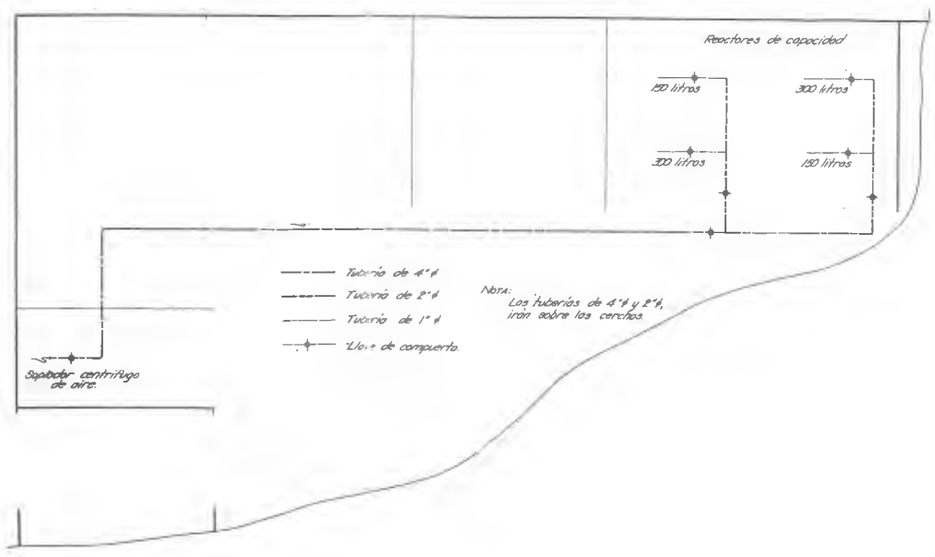
Las tuberías de vapor deben ir forradas con lana de vidrio o asbestos tal como se representa en el dibujo N° 22.



PLANTA
Distribución de tubería para agua.

DIBUJO Nº 23.

Escala: 1:50



PLANTA
Distribución de tubería para aire

DIBUJO Nº 24

Escala: 1:50

ESPECIFICACIONES PARA EL MONTAJE DE LAS NECESIDADES DEL FLUIDO

Distribución de agua

Para elagua se tiene una tubería principal de 1,1/2 pulgada de diámetro con derivaciones de 1 pulgada y 3/4 pulgada de diámetro.

Necesitan agua los siguientes aparatos:

Serpentín de enfriamiento de la retorta de destilación seca de la madera, que tiene una entrada de agua de 1 pulgada de diámetro al tanque de enfriamiento.

El generador de vapor tiene una entrada de agua de 1 pulgada de diámetro que pasa primero antes de entrar al generador de vapor, por un sistema de eliminación de la dureza del agua del tipo de las zeolitas.

Se estima que el tanque del condensador de la columna de rectificación necesita por lo menos una entrada de agua de 1 pulgada de diámetro por lo que se necesita en este sitio una deriviación de 1 pulgada de diámetro.

En el sitio de los reactores de 60 litros de capacidad total habrá un tubo de 1 pulgada de diámetro, que va a lo largo de la parod y que tiene 3 tomas de 3/4 pulgada de diámetro equidistantes entre sí.

En el sitio para los reactores de 300 y 150 litros de capacidad total se tiene un tubo de 1 pulgada de diámetro que va a lo largo de la pared, con 4 tomas de 3/4 pulgada distribuidos equidistantes entre sí.

Para el sitio del evaporador múltiple habrá, un tubo de 1 pulgada de diámetro con 2 tomas de 3/4 pulgada cada una de diámetro, una para el condensador de gases de la bomba de vacío del evaporador y otro para usos generales.

Para el cuarto de soldadura se tiene un tubo de 3/4 pulgada de diámetro que está instalado en la pila de lavar.

Para el departamento electroquímico se tiene también un tubo de 3/4 pulgada de diámetro instalado en la pila de lavar.

Para el departamento de equipo de refrigeración habrá 2 tomas de 1 pulgada de diámetro, una para la preparación de salmueras y la otra para el intercambiador de calor del equipo de refrigeración.

Para los servicios sanitarios del laboratorio existirá un tubo de 1 pulgada de diámetro que los abastecerá con derivaciones de 3/4 pulgada.

Existirán llaves de detensión que cierran el agua cerca de la unión entre el tubo principal de 1 y 1/2 pulgada de diámetro y las derivaciones respectivas en cada sitio, a la salida del agua existirán las correspondientes llaves de compuerta o llaves sanitarias según sea el caso.

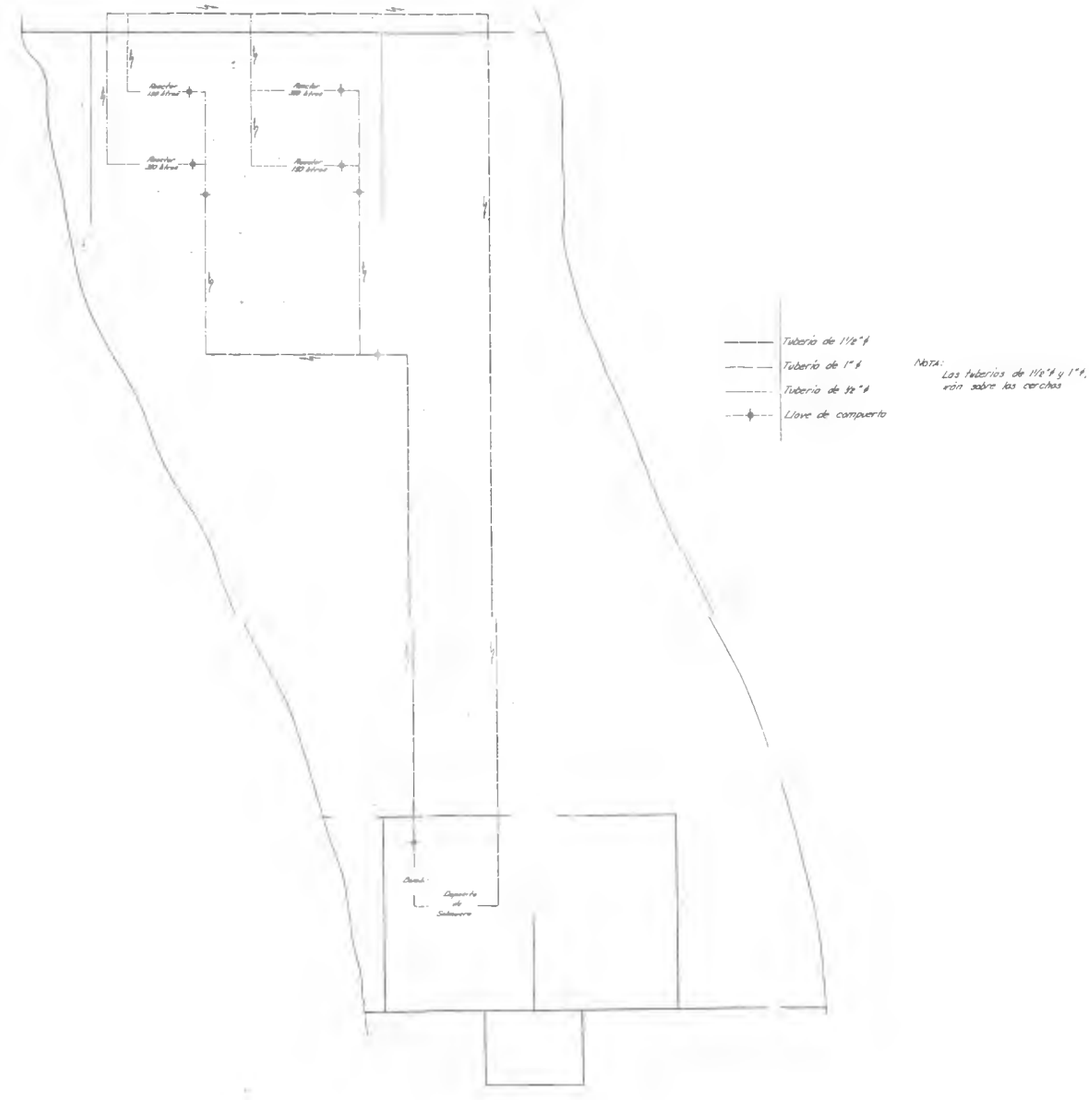
La distribución del agua se puede apreciar en el dibujo N° 23.

Distribución de aire

Para las necesidades de aire se necesita instalar un tubo principal de 4 pulgadas con 2 derivaciones de 2 pulgadas y a la vez, cada derivación de estas con 2 derivaciones de 1 pulgada de diámetro para abastecer los reactores de 300 y 150 litros de capacidad total.

Se usarán llaves de compuerta de bronce tanto en las uniones con el tubo principal, como a la entrada del aire a los serpentines de los reactores.

La distribución del aire puede apreciarse en el dibujo N° 24.



PLANTA
Distribución de tubería para salmueras frías.

DIBUJO Nº 25

Distribución de salmuera o agua fría

Para la necesidad de salmuera o agua fría, se instalará un tubo principal de 1 y 1/2 pulgada de diámetro con 2 derivaciones de 1 pulgada dediámetro que a su vez tiene cada una 2 derivaciones de 1 pul - gada de diámetro para cada uno de los reactores de 300 y 150 litros - de capacidad total.

A la salida de los serpentines y camisas tenemos para retorno de cada uno de los reactores un tubo de 1/2 pulgada de diámetro, y cada_ 2 de estos tubos de 1/2 pulgada de diámetro empatan a un tubo de 1 pulgada de diámetro que a la vez empatan a un tubo grande de 1 y 1/2 pulgada de diámetro que es el que lleva el retorno total.

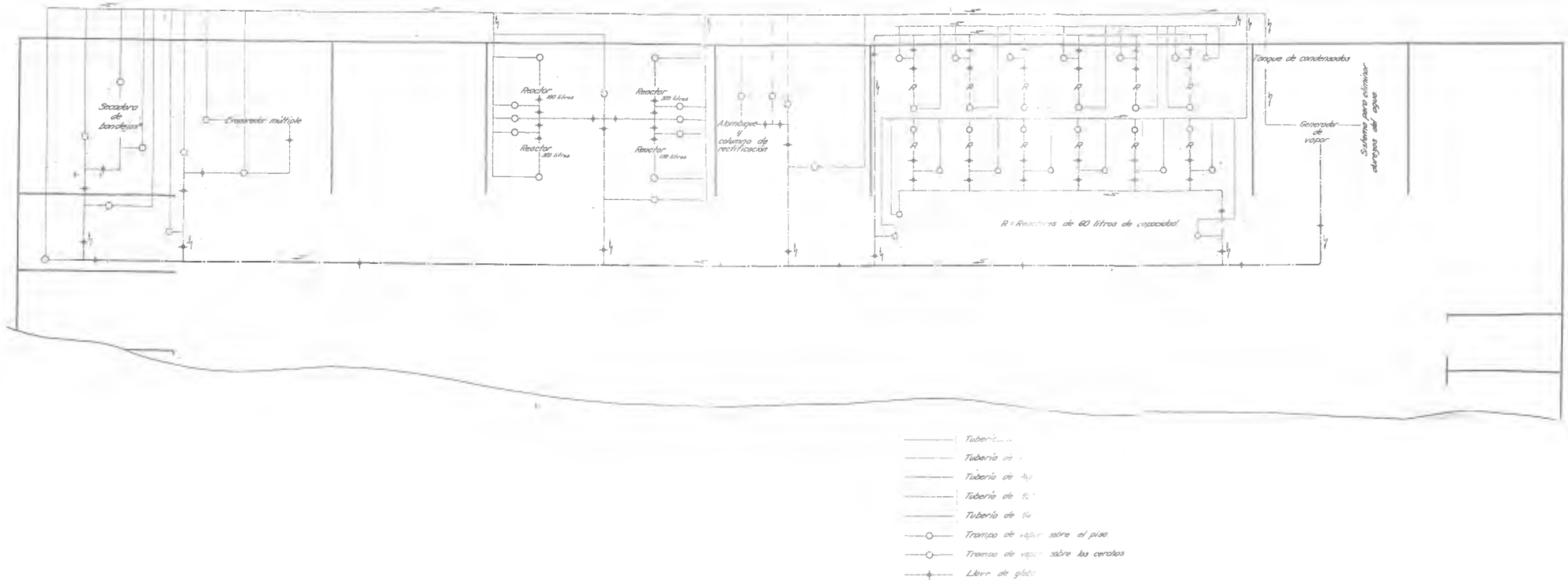
La distribución de salmuera y agua fría puede apreciarse en el dibujo N° 25

Distribución de vapor

Para las necesidades de vapor se necesita un tubo principal de - 1 y 1/4 pulgada de diámetro con 2 derivaciones de 1 pulgada de diáme - tro para los reactores de 60 litros de capacidad total y cada una de - estas derivaciones tiene 6 derivaciones de 1/2 pulgada de diámetro para los reactores.

Para el alambique y la columna de rectificación, se tiene una derivación de 1 pulgada de diámetro que a la vez tiene una derivación estimada en 3/4 pulgada de diámetro.

Para los reactores de 300 y 150 litros de capacidad total se tendrá una derivación de 1 pulgada de diámetro que a la vez tiene 2 derivaciones de 3/4 pulgada de diámetro y cada derivación de estos tiene 2 derivaciones de 1/2 pulgada de diámetro que son los que alimentan a cada uno de los reactores.



PLANTA
Distribución de tubería para vapor.

DIBUJO Nº 26

Escala 1:50

Para el evaporador múltiple se tiene una derivación de 1 pulgada de diámetro que a la vez tendrá una derivación de 1/2 pulgada de diámetro que es la que alimenta al evaporador.

Para la secadora de bandejas se tiene una derivación de 1 pulgada de diámetro, que a la vez tendrá una derivación de 1/2 pulgada de diámetro que es la que alimenta a la secadora.

Para cerrarle el paso al vapor se tienen llaves de globo en cada sección de la tubería principal, cerca de las uniones de las derivaciones y a la entrada del vapor en cada aparato.

Se tienen trampas de vapor para eliminar condensados en las derivaciones principales, al final de cada derivación, y cerca de la entrada y la salida de cada aparato.

Para el retorno del condensado, se tiene tuberías de 1/4 pulgada de diámetro de cada una de las tampas que descargarán a un tubo de 3/4 pulgada de diámetro, que los retornará al tanque de condensados.

En los sitios de todos los reactores se tiene que los tubos de 1/4 pulgada de diámetro descargarán en un tubo de 1/2 pulgada de diámetro, que a la vez estos descargarán en el tubo de retorno de 3/4 pulgada de diámetro.

La distribución de vapor puede apreciarse en el dibujo N° 26

Todas las tuberías para fluídos deben ir suspendidas en las cerchas del edificio y pintadas cada una de un color diferente de acuerdo

con el Código Universal para tuberías industriales, que serán los siguientes:

Agua potable: color verde

Aire insuflado: color azul

Vapor (Hasta 6 atmósferas relativas): color rojo

Salmueras: color verde con franjas delgadas anaranjadas

Agua de condensados: color verde con franjas delgadas amarillas

Nota: La colocación de uniones de tope y otros accesorios de tubería, no se especifican por ser un asunto exclusivo de fontanería.

Tabla de Factores de Conversión

Para convertir	Multiplique por	Para obtener
Pulgadas lineales	2.54	Centímetros lineales
Centímetros lineales	$\frac{1}{2.54}$	Pulgadas lineales
Pulgadas cuadradas	6.45	Centímetros cuadrados
Centímetros cuadrados	$\frac{1}{6.45}$	Pulgadas cuadradas
Pulgadas cúbicas	16.4	Centímetro cúbico
Centímetro cúbico	$\frac{1}{16.4}$	Pulgadas cúbicas
Pies lineales	12	Pulgadas lineales
Pulgadas lineales	$\frac{1}{12}$	Pies lineales
Pies cuadrados	144	Pulgadas cuadradas
Pulgadas cuadradas	$\frac{1}{144}$	Pies cuadrados
Pies cúbicos	1728	Pulgadas cúbicas
Pulgadas cúbicas	$\frac{1}{1728}$	Pies cúbicos
Litros	1000	Centímetros cúbicos
Centímetros cúbicos	$\frac{1}{1000}$	Litros
Galones	3.78	Litros
Litros	$\frac{1}{3.78}$	Galones

Para convertir	Multiplique por	Para obtener
Galones	Número de libras	Libras
Kilogramos	2.2	Libras
Libras	$\frac{1}{2.2}$	Kilogramo
$\frac{\text{Kilogramo}}{\text{centímetro cuadrado}}$	2.2 x 6.45	$\frac{\text{Libras}}{\text{pulgada cuadrada}}$
$\frac{\text{Libras}}{\text{pulgada cuadrada}}$	$\frac{1}{2.2 \times 6.45}$	$\frac{\text{Kilogramos}}{\text{centímetro cuadrado}}$
Horse Power	641.3	Kilocalorías
Kilocalorías	$\frac{1}{641.3}$	Horse Power
British Thermal Unit	0.252	Kilocalorías
Kilocalorías	$\frac{1}{0.252}$	British Thermal Unit
Horse Power	0.736	Kilovatios
Kilovatios	$\frac{1}{0.736}$	Horse Power
$\frac{\text{Kilogramo-metro}}{\text{segundo}}$	$\frac{1}{75}$	Caballo Vapor

Conversión de grados Farenheit a grados centígrados

$$\frac{(\text{grados Farenheit} - 32)}{1.8} = \text{grados Centígrados}$$

Conversión de grados Centígrados a grados Farenheit

$$(\text{grados Centígrados} \times 1.8) + 32 = \text{grados Farenheit}$$

BIBLIOGRAFIA

Ullmann Fritz "Enciclopedia de Química Industrial" Volúmen IX, Sección V Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1950

Henglein F.A. "Compendio de Tecnología Química Industrial" Quinta Edición, Editorial Manuel Marín, Barcelona

Vian Angel y Ocon Joaquín "Elementos de Ingeniería Química" (Operaciones Básicas) Editorial Aguilar S.A. Madrid 1952

Badger Walter L. y Banchero Julius T. "Introduction to Chemical Engineering" Editorial McGraw Hill Book Company, New York, 1955

Moyer James A. y Fittz Raimond U. "Refrigeración" Segunda Edición, Compañía Editorial Continental S.A. México D.F. 1954

McCabe Warren L. y Smith Julian C. "Unit Operationes of Chemical Engineering" Editorial McGraw Hill Book Company, New York 1956

Perry John H. "Chemical Enginers Handbook" Editorial McGraw Hill Book Company. Tercera Edición, New York, 1950

Hodgman Charles D. "Handbook of Chemistry and Physics" Editorial ChemicalRubber Publishing, Edición N° 28 Cleveland, Ohio, 1944

Kirschbaum Emil "Destilación y Rectificación" Editorial Aguilar S.A. Madrid 1954.

Eshbach Ovid W. "Handbook of Engineering Fundamentals" Segunda Edición, John Willey & Sons, Inc. New York 1952

Boletines y Catálogos

A B C, New York, U.S.A. Catálogo sobre Quemadores para Hornos y Generadores de Vapor

Deming, Salem, Ohio, U.S.A. Boletín N° 3900-C de Bombas Centrífugas para agua

Jacuzzi, Richmond, California U.S.A. Catálogo de Bombas y Sistemas de agua

Geo D. Roper Corporation, Rockford Illinois U.S.A. Catálogo de Información sobre Bombas para Líquidos Viscosos

York Ice, York, Pennsylvania U.S.A. Catálogo de Información sobre Equipo de Refrigeración

Frick, Waynesboro, Pennsylvania U.S.A. Catálogo de Información sobre equipo de Refrigeración

Clayton, El Monte, California, Catálogo de Información sobre Generadores de Vapor

Murray, New York U.S.A. Catálogo Vol. 10 N° 6 noviembre y diciembre de 1957, sobre Información de Tuberías

Tri-Clover, Chicago, Illinois U.S.A. Catálogo N° 158 sobre Información de Tuberías

Ilg Electric Ventilating C° Chicago, Illinois U.S.A.
Boletín N° 310 de Información sobre Sopladores Centrífugos

Ilg Electric Ventilating C° Chicago, Illinois U.S.A. Boletín N° 249 sobre Información de Sopladores Centrífugos

American Standard Practice for Industrial Lighting (patrocinada por Illuminating Engineering Society), New York U.S.A. Tablas para Iluminación

Código Electrico Nacional de Estados Unidos de Norteamérica (patrocinado por la National Board of fine Underwrites) Business Publishers International Corporation New York N.Y. 1943

SUMARIO

Esta tésis es un trabajo que muestra el cálculo del equipo industrial de una planta piloto múltiple para algunas de las industrias químicas y que puede servir como laboratorio de procesos de la Química Industrial, en el cual el alumno no solo cumple con la práctica, sino que desarrolla su habilidad industrial.

El proyecto no contempla todo el equipo usado en la industria química y solamente contiene algunos de los aparatos más usados por la industria nacional.

Este laboratorio puede irse completando poco a poco con mas equipo industrial y con aparatos usados para la enseñanza de la Ingeniería Química, dando así la oportunidad que algún día pueda la Universidad de Costa Rica, ofrecer la Ingeniería Química como profesión.