

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades

SUPERVISION DE LA INSTALACION DEL
LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS
DE INGENIERIA QUIMICA DE LA UNIVERSIDAD
DEL VALLE DE GUATEMALA

JULIO ESTUARDO BAUTISTA LOPEZ

Guatemala

1985

SUPERVISION DE LA INSTALACION DEL
LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS
DE INGENIERIA QUIMICA DE LA UNIVERSIDAD
DEL VALLE DE GUATEMALA

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades

TE
UVA
INF 8
1335
1985
C.2

SUPERVISION DE LA INSTALACION DEL
LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS
DE INGENIERIA QUIMICA DE LA UNIVERSIDAD
DEL VALLE DE GUATEMALA

JULIO ESTUARDO BAUTISTA LOPEZ

Modelo de Trabajo Profesional presentado
para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala

1985

Vo. Bo. :

(f) _____

Tribunal:

(f) _____

(f) _____

(f) _____

Fecha de aprobación:

CONTENIDO

	Páginas
SUMARIO	
I. OBJETIVOS GENERALES DEL MODELO DE TRABAJO PROFESIONAL	1
II. DISEÑO Y MONTAJE DEL LABORATORIO	3
1. Descripción del Laboratorio de Operaciones Unitarias de Ingeniería Química	3
1.1 Equipos e instrumentos instalados	3
2. Localización de los equipos en el laboratorio	6
2.1 Criterios para la localización de los equipos en el laboratorio	6
2.2 Criterios para agrupar los equipos	7
III. SISTEMAS Y EQUIPOS INSTALADOS	9
3. Sistema de vapor	9
3.1 Caldera: ubicación, dimensiones, materiales, instalaciones y función	9
3.2 Sistema de tratamiento de agua: ubicación, materiales y función	12
3.2.1 Tanque de retorno de condensados	13
3.2.2 Trampas de vapor	15
3.2.3 Tanque de alimentación de la caldera	16
3.3 Tuberías de transporte de fluidos	17
3.3.1 Línea de vapor	17
4. Línea de servicio	19
5. Torres de destilación, absorción, enfriamiento y extracción	22

	Páginas
5.1 Criterios de ubicación	22
5.2 Dimensiones, materiales, instalaciones y funciones de las torres	23
5.2.1 Torre de destilación y torre de enfriamiento	23
5.2.2 Torre de absorción	27
5.2.3 Torre de Extracción	29
6. Sistema de bancos de fluidos	32
6.1 Banco de medidores No. 1	32
6.2 Banco de medición de caídas de presión en tuberías y accesorios	32
6.3 Banco de medidores No. 2	34
Cuadro sinóptico de los bancos de fluidos	36
7. Sistema de filtración	37
8. Intercambiadores de calor	42
8.1 Aspectos de diseño e instalación	42
8.2 Aspectos de operación	45
9. Evaporador	47
10. Instalaciones eléctricas	49
IV. APENDICES	
A. Adquisición de herramientas	51
B. Instalaciones eléctricas	52
C. Bomba del tanque de retorno de condensados	53
D. Caldera	56

	Páginas
E. Código de colores norma ICAITI No. 19017	64
F. Diseño de las líneas de servicio	65
G. Selección del aislamiento térmico, cálculo del espesor y ahorro de combustibles	67
H. Trampa de vapor	71
I. Torre de destilación	74
J. Bomba del banco de caídas de presión en tubería y accesorios	80
K. Bomba del sistema de filtración	82
L. Eficiencia de los intercambiadores de calor	84
M. Coeficiente del orificio	87
N. Planos de los equipos y sistemas del Laboratorio	90
O. Registro de equipos del laboratorio	110
V. BIBLIOGRAFIA	123

SUMARIO

El presente reporte del Modelo de Trabajo Profesional tiene como tema la "Supervisión de la Instalación del Laboratorio de Operaciones Unitarias de Ingeniería Química de la Universidad Del Valle de Guatemala", y presenta los aspectos más importantes del trabajo realizado durante dos años en esta instalación.

La instalación comprendió los aspectos siguientes: cotización y adquisición de herramientas y materiales con proveedores diversos; diseño y cálculo de sistemas de Transferencia de Calor, Flujo de Fluidos y Transferencia de Masa; hacer y consultar planos; instalación de tuberías y accesorios para drenajes y líneas de servicio, equipos auxiliares y montaje de equipos. Asimismo trató sobre la optimización de tiempo y costo de inflación, eficiencia energética en el funcionamiento de los sistemas, localización de fallas en los equipos montados y su corrección, y la realización de pruebas preliminares de los sistemas instalados.

Se espera que este trabajo ayude a la operación y mantenimiento de estas instalaciones, para lo cual están incluidos los planos consultados, las cotizaciones realizadas, los cálculos para el diseño y montaje de la tubería, equipos y sistemas del Laboratorio de Operaciones Unitarias.

I. OBJETIVOS GENERALES DEL MODELO DE TRABAJO PROFESIONAL

En la carrera de Ingeniería Química se estudian diversas materias como Transferencia de Masa, Flujo de Fluidos, Transferencia de Calor, Termodinámica, Balances de Masa y Energía que tratan los fenómenos de transporte y operaciones unitarias. Existen además otras materias que complementan el conocimiento del ingeniero acerca de estos fenómenos como son Ingeniería de Plantas, Manejo de Sólidos, Fisicoquímica, Química Orgánica, Análisis e Ingeniería Eléctrica.

El estudio de tales materias permiten que el Ingeniero Químico pueda adquirir las bases teóricas que le permitan resolver problemas específicos de un proceso, en una fábrica o en una planta; pero la aplicación práctica de estos conocimientos exige que existan laboratorios donde pueda desarrollar sus habilidades en el manejo de equipos y supervisión de procesos o sistemas.

De ahí que en la Universidad del Valle se hizo necesario instalar equipos de laboratorio para que el estudiante de Ingeniería Química pudiera aplicar lo aprendido en el transcurso de la carrera.

El montaje del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad, es una buena oportunidad para conocer el manejo de equipos y sistemas, y además adiestrarse en las técnicas propias de su montaje. Por estas razones la supervisión

de la instalación del laboratorio fue elegida como tema del Modelo de Trabajo Profesional a desarrollar en esta oportunidad.

Los objetivos de este Modelo de Trabajo Profesional son:

- a) Obtener experiencia en el diseño de Sistemas de Flujo de Fluidos, Transferencia de Calor, Transferencia de Masa que incluye equipo, tuberías, accesorios, equipo auxiliar, que consideren distintos flujos, fluidos y tipos de energía.
- b) Adquirir experiencia en cotizar equipos y materiales con proveedores diversos, y conocer los factores que determinan una adecuada selección.
- c) Diseñar, dibujar y consultar planos para las instalaciones de los equipos y sistemas.
- d) Adquirir experiencia en el montaje del equipo, instrumentos e instalaciones auxiliares.
- e) Optimizar tiempos y costos de instalación de equipos y sistemas.
- f) Instalar cada equipo y sistema de tal manera que consuman la menor cantidad de energía al operarlos para obtener una alta eficiencia energética.
- g) Realizar pruebas preliminares en todos los equipos y hacer las correcciones necesarias para mejorar su operación.

II. DISEÑO Y MONTAJE DEL LABORATORIO

1. DESCRIPCIÓN DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE INGENIERÍA QUÍMICA.

El Laboratorio se encuentra en el edificio de la Universidad, (Anexo #1). Con el equipo adquirido se ocupó la parte libre del edificio, destinando al Laboratorio el 75% del área disponible, el área restante se usará para equipos de Ingeniería de Alimentos, (Anexos #2 y #3). El primer nivel del edificio servirá para laboratorios de Cinética de Reactores, Bioingeniería, análisis químico de las muestras obtenidas en las prácticas del Laboratorio de Operaciones Unitarias y un taller de mantenimiento. El área de la parte libre del edificio es de 635.5 m², y el equipo de Operaciones Unitarias ocupa 424.8 m².

El Laboratorio tiene cuatro entradas, tres que lo comunican con los salones y oficinas y una que permite el ingreso de vehículos y equipos grandes al Laboratorio, (plano #1).

1.1 Equipos e instrumentos instalados.

Lado Norte: (Planos #2 y #3)

Intercambiadores de calor	concha y tubos
	múltiple tubo
	suavizador de agua
sistema de suavización	retorno de condensados
caldera	tanque de alimentación
almacenaje de agua	tubería de interconexión
	equipo auxiliar

balones

Evaporador condensadores
intercambiador de calor con serpentín

Proyecto: secador de bandejas (instalación futura 1986).

Lado sur: (Planos #2 y #3)

destilación con condensador
absorción gas-líquido
Torres de transferencia de Masa extracción líquido-líquido
de enfriamiento

tanques de 55 galones
compresor
tubería de hierro galvanizado y
Sistema de filtración accesorios
medidores
filtro de candela
bomba de desplazamiento positivo

Parte central: (Planos #2 y #3)

en tubería y
accesorios
vertedero

Bancos de fluidos-caídas de presión venturi
otros accesorios
bomba centrífuga

Instalaciones auxiliares: (Planos #2 y #3)

	1" diámetro	(para agua)
Tubería de hierro galvanizado	3/4" diámetro	(para vapor)
	1/2" diámetro	(para aire)

Para los equipos de la parte central se construyó un canal de concreto de 30 cms. de ancho por 25 cms. de profundidad donde se instaló un ramal de las líneas de agua y aire, hacia el sur; además para los bancos de fluidos, al norte, se instaló tubería para el agua. (Planos #2 y #3).

2. Localización de los equipos en el Laboratorio:

2.1 Criterios para la localización de los equipos en el Laboratorio.

El área específica de trabajo de cada sistema es: (Planos #2 y #3)

EQUIPOS	AREA (metros ²)
caldera	3.7
intercambiadores de calor	1.7
sistema de suavización	4.5
evaporador	1.4
torre de destilación	1.6
torre de absorción	1.5
torre de extracción	Ø.5
torre de enfriamiento	1.7
sistema de filtración	6.8
banco de medidores	1.Ø c/u.
banco de caídas de presión	3.4

Los equipos que utilizan vapor tales como intercambiadores de calor, evaporador, torre de destilación, se colocaron junto a la pared del edificio y cerca de la caldera, de esta forma la línea de vapor se acortaba, además de ahorrar el costo de aislar tubería larga de interconexión con la caldera.

Los bancos de fluidos al ser fácilmente movibles y utilizar solo agua de las líneas de servicio, se decidió colo-

7
carlos al centro del edificio, así que solamente se instaló tubería para el agua.

La torre de enfriamiento necesita aire fresco para su normal funcionamiento, por lo que se colocó frente a la entrada principal del laboratorio, además, quedó frente a la torre de destilación de la que utiliza el agua que sale del condensador. (Planos #2 y #3).

2.2. Criterios para agrupar los equipos.

Los distintos equipos se agrupan principalmente por área de fenómeno de transporte:

a) Transferencia de Masa: torre de destilación, torre de absorción, torre de extracción, torre de enfriamiento y sistema de filtración.

Estos cinco equipos se agruparon en la parte central y sur del laboratorio; además, las tres torres altas (destilación, absorción, extracción) están juntas, ya que se tiene planeado construir un mezzanine en el área ocupada por ellas y de esa forma es más fácil trabajar en las mismas, sin peligro de tener o causar un accidente.

b) Flujo de fluidos: un banco de medidores de flujo, un banco de bombas centrífugas y el banco de caídas de presión. Como se mencionó anteriormente, los tres bancos al utilizar solo agua como fluido de trabajo, era más fácil y barato agruparlos

en un área específica y colocar un solo ramal de la línea de agua que los abastece, (Planos #2 y # 3).

Además estos tres equipos utilizan corrientes 110V y el único lugar donde se tienen varios tomacorrientes de 110V, es en el centro del Laboratorio, por lo que se colocaron en ese lugar.

c) Transferencia de calor: caldera y su sistema de tratamiento y alimentación de agua, el evaporador, los intercambiadores de calor y en proyecto de instalación está el secado de bandejas.

Buscar la cercanía a la caldera que es la fuente de vapor, hizo que esos tres sistemas se colocaran cerca, facilitando así su interconexión, ya que se acortan las distancias, bajando costos de instalación.

III. SISTEMAS DE EQUIPOS INSTALADOS

3. SISTEMA DE VAPOR

3.1 Caldera: ubicación, dimensiones, materiales, instalaciones y función.

La caldera Cleaver-Brooks de 30 BHp (Anexo Ø, Página 111), se ubicó en el extremo norte del laboratorio, que es el lugar más alejado de la biblioteca y rectoría de la Universidad, para prevenir que cualquier ruido fuerte o que el humo producido por la caldera no perturbe las actividades de dichas dependencias. Además ese lugar es aproximadamente el centro geométrico de la línea de vapor, lográndose así una mejor distribución de la presión del vapor entre las unidades, (Planos #2 y #3).

La caldera se instaló sobre unas bases de concreto armado de 10 x 11 x 196 cms. unidos en un extremo, dejando el otro libre, de esta forma se podrá limpiar el espacio debajo de la misma y evitar estancamientos de agua. Además, en medio de esos soportes se instaló tubería con válvula de apertura rápida que sirva para drenar la purga, como también al sistema de niveles de la caldera se le instaló dicha tubería de purga.

La caldera en el Laboratorio de Operaciones Unitarias tiene como función la producción de vapor que es la principal fuente de calor para los demás equipos del laboratorio, y además constituye una unidad experimental para la evaluación

de la eficiencia térmica.

La caldera puede utilizar gas propano o diesel como combustibles; el tanque de diesel tiene una capacidad de 300 galones y posee además dos cilindros de gas de 100#f/pul², situados ambos en el exterior del edificio, para evitar que cualquier fuga de gas pueda causar algún accidente. Aunque se pueden emplear los dos combustibles, el más usado es el diesel ya que es de más fácil manejo por ser líquido, tiene mayor valor calorífico que el gas (140.000 BTU/galón del diesel contra 91.500 BTU/galón del gas), Perry (1973:9-53) y es más seguro.

Para el control de la presión del vapor producido dentro de la caldera, hay un doble sistema de control Honeywell con switches de mercurio, Honeywell (Pressuretrol Controllers).

Los gases de combustión de la caldera no se utilizarán como fuente de calor para ningún equipo del laboratorio por lo que se instaló una chimenea para conducirlos al exterior del edificio, (Anexo N, Planos #2 y #5). Para controlar la salida de estos gases se instaló en la chimenea un "damper" con un control de palanca, el cual se mueve de acuerdo al nivel de aireación que se desee darle. Al ir cerrando el "damper". disminuye la cantidad de aire que entra al quemador, por consiguiente, los gases de combustión que salen por la chimenea y el exceso de aire disminuyen y la eficiencia de

la caldera aumenta, o sea que existe una relación inversa: a menor abertura del "damper" se tiene menos exceso de aire lo que da una mejor combustión o eficiencia de la caldera.

Esto se debe a que con una abertura menor el tiempo de residencia de los gases de combustión dentro de la caldera es mayor, necesitándose menor cantidad de combustible para producir una misma cantidad de vapor. Esto se confirma al tener temperaturas de salida más bajas para la posición 25% abierta (425°F) que para la posición 100% abierta (650°F).

Según resultados, la eficiencia térmica máxima de la caldera fue de 76%, con 25% de abertura del "damper", con un rendimiento de 13 Lbs. de vapor producido por cada libra de diesel consumido y un exceso de aire de 3%; mientras que la eficiencia térmica mínima fue de 65%, con una abertura del 100%, con un rendimiento de 11 Lbs. de vapor producido por cada libra de diesel consumido y un exceso de aire de 31%, (Anexo D).

La chimenea se construyó para que saliera 1 metro fuera del techo del edificio y aunque es más alta, y una chimenea lateral hubiera sido más corta, ésta última forma daría un mal aspecto al sistema de vapor. La chimenea se hizo de lámina negra recubierta con una capa de pintura plateada termo-resistente.

Todo el sistema de vapor, tanques de retorno de condensa

dos y alimentación; tubería de transporte de los combustibles y de agua; tubería de purga del tanque de alimentación, de los niveles y de la caldera; tubos de polyducto para el alambrado eléctrico y la tubería de salida del vapor con su aislamiento, fueron pintados de acuerdo a la norma ICAITI #19017 (Anexo E). Esto se hizo para tener un ambiente limpio, estético y ordenado, además se pretende que desde el inicio de la carrera, el estudiante de Ingeniería Química se acostumbre a tener bien diferenciados los distintos equipos y tuberías de acuerdo al fluido que utilizan y de esta forma en cualquier lugar de la fábrica, planta o Laboratorio que trabaje, conozca la clase de fluidos que está empleando.

3.2 Sistema de tratamiento de agua: ubicación, materiales y función.

La tubería de hierro galvanizado de 1" de diámetro nominal fue instalada para conectar el agua municipal al sistema de tratamiento de agua "Cleaver-Brooks" de 60.000 grains (Anexo 0, Página 111), el caudal pasa por un medidor que permite determinar por diferencias de lecturas en un tiempo dado. el volumen utilizado en galones, Cleaver-Brooks (Walter Conditioner Manual).

Entre el suavizador y el tanque de alimentación de la caldera está instalada una tubería de hierro galvanizado de

1" de diámetro, que incluye un "by-pass", (Anexo N, Plano #4). Normalmente el flujo pasa del suavizador al tanque de alimentación y de allí a la caldera, que utiliza el agua suavizada; pero si por alguna razón el suavizador estuviera fuera de servicio y es necesario operar la caldera, se puede obviar el paso por el suavizador utilizando el "by-pass". De esta manera siempre hay agua disponible para el tanque de alimentación, ya que la misma es vital para el normal funcionamiento de la caldera.

El agua municipal trae sales solubles que causan incrustaciones en las paredes de los tubos y reducen la transferencia de calor a través de estos, lo que baja la eficiencia de la caldera; por eso, el agua municipal antes de llegar al tanque de alimentación pasa por un suavizador. Del suavizador, el agua sale "suave", es decir, sin carbonatos, para ser almacenada en el tanque de alimentación de la caldera. Este suavizador utiliza zeolitas para llevar a cabo el intercambio iónico, del ion calcio (Ca^{++}) y Mg^{+} por el ion sodio (Na^{+}) y hacer insolubles los carbonatos solubles en el agua, o sea de $CaCO_3$ a $NaCO_3$, precipitándolos y así poder separarlos del agua, Ayres (1970:191).

3.2.1. Tanque de retorno de condensados.

Este tanque se instaló bajo el nivel del piso del Labora-

torio, en un área excavada (Plano #4), lográndose así que los condensados de cualquier equipo cercano (principalmente del evaporador), puedan llegar al tanque por gravedad. La excavación fue recubierta con cemento y se construyó una grada en cada extremo, adonde fue atornillado el tanque. En el fondo de la excavación se instaló un drenaje tipo francés, por donde pueden filtrarse los líquidos derramados.

El bombeo del agua del tanque de retorno de condensados al tanque de alimentación de la caldera se realiza con una bomba con motor de $\frac{1}{2}$ HP, (Plano #4). Con esta bomba se pueden transportar todos los condensados que hay en aquel tanque, en aproximadamente tres minutos al tanque de alimentación de la caldera.

Los condensados de la torre de destilación y de los intercambiadores de calor se purgan en una tubería hacia el drenaje.

Al operar el evaporador, se forman condensados que irán al tanque de almacenamiento. Paulatinamente este tanque se llenará y será necesario bombear dichos condensados al tanque de alimentación de la caldera. Si en un momento dado, el tanque de alimentación está lleno con agua suavizada y el tanque de retorno de condensados está por llenarse, ambos líquidos se envían al drenaje.

3.3.2 Trampas de vapor.

En los extremos de la línea de vapor, se instaló una trampa de vapor de cubeta invertida para drenar los condensados de dicha línea. Antes de introducir vapor a la tubería se deben de purgar los condensados ya que si se dejan dentro de la misma, el contacto vapor-líquido causaría un golpe de ariete en la línea.

Para purgar la tubería se cierran las válvulas de globo L2 y L3 que están a ambos lados de la trampa (Anexo N, Plano # 6), y se abre la válvula de globo L1 que está en el ramal superior del sistema trampa-purga, purgando así los condensados acumulados en la línea; al terminar esta operación, se abren las válvulas L2 y L3 situadas a ambos lados de la trampa de vapor y se cierra la L1 que está en el ramal superior.

Las dos trampas de dichos sistemas solo dejan pasar el aire y el agua, atrapando el vapor, el que posteriormente se condensa. Debido a que se tiene poca cantidad de condensados y el costo de estos equipos auxiliares se incrementa cuando aumenta el diámetro de la tubería con que se trabaja, se decidió instalar la tubería y trampa de ½" de diámetro para el sistema trampa-purga, (Anexo H), reduciendo así costos por compra de equipo. Además, las trampas instaladas son del tipo de cubeta invertida ya que al ser las de más fácil y amplio uso, su costo es menor y se encuentra con mayor faci

lidad en el mercado local.

Si se quiere bajar la presión en la línea de vapor para mantener funcionando la caldera, se procede de igual manera que cuando se purgan los condensados: (Anexo N, Plano #6), abrir la válvula L1 y cerrar las válvulas L2 y L3 a ambos lados de la trampa. Dejar salir el vapor hasta llegar a la presión deseada dentro de la caldera, entonces cortar la salida del vapor, cerrando la válvula L1 y abriendo las válvulas L2 y L3. Así queda la trampa lista para purgar el condensado producido al haber vapor en la línea.

3.2.3. TANQUE DE ALIMENTACION DE LA CALDERA

El tanque de alimentación de la caldera tiene capacidad para 30 galones de agua, y utiliza una bomba de desplazamiento positivo marca Aurora con un motor de 3HP (Anexo Ø, Página 111).

El sistema para controlar la alimentación de agua a la caldera puede ser manual o automático, prefiriéndose el último ya que la caldera tiene un nivel que controla la cantidad de agua dentro de ella. Cuando el agua llega a su límite inferior dentro de la caldera, el flotador acciona un switch de mercurio que se inclina de tal forma que establece contacto entre dos terminales eléctricas lo que acciona la bomba, iniciándose la alimentación de la caldera. Al llegar al límite

superior, el flotador acciona el switch de mercurio hacia el lado contrario, rompiéndose el contacto entre las dos terminales eléctricas y se para la bomba.

3.3. TUBERIAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS.

Las siguientes tuberías fueron colocadas en un canal de 30 cms. de ancho por 15 cms. de profundidad: tubería de transporte del gas y diesel; de retorno de condensados al tanque de alimentación de la caldera; agua municipal al suavizador y conduits para la conducción del alambrado eléctrico. En este canal se hizo un drenaje francés con tubería perforada cubierta con arena y piedrín.

Este drenaje absorbe los líquidos derramados dentro del canal al producirse fugas en tuberías o cuando se limpia el área del sistema de vapor y los conduce al sistema de drenaje del Laboratorio, evitándose así estancamientos de líquidos.

El canal además tiene tapaderas de concreto con refuerzos de hierro de 3/8", de esa forma el paso por encima del canal es libre.

Para la conexión de los depósitos de combustible a la caldera se utilizó tubería de hierro galvanizado de 1" de diámetro nominal.

3.3.1 LINEA DE VAPOR

Como las unidades del laboratorio que utilizan vapor lo requieren a distintas presiones, usualmente menores a la que

está calibrada la operación de la caldera (de 100 a 110 PSI), fue necesario instalar una válvula reductora de presión antes del punto donde se bifurca la línea de vapor en las dos líneas de servicio que tiene un diámetro de 3/4".

Además se instalaron válvulas reductoras en la entrada de las unidades que utilizan presiones bajas para tener un adecuado control en cada equipo específico para no alterar el funcionamiento de otros equipos que utilizan presiones más altas, cercanas a la presión a la que está calibrada la válvula reductora principal, (75 PSI).

La salida de vapor de la caldera se encuentra en la parte superior y tiene 2" de diámetro, (Anexo N, Plano #5). Para la conducción del vapor a la línea que lo distribuye, se instaló tubería de hierro galvanizado de 2" de diámetro, reduciéndola antes de su bifurcación a 1" de diámetro.

La tubería de 2" se instaló con la menor cantidad de accesorios posible para disminuir las pérdidas de presión. Para evitar pérdidas de calor, la tubería tiene aislamiento de fibra de vidrio. Por tener un costo más bajo, la principal válvula reductora de presión se instaló en el tramo de 1" de diámetro, antes de la bifurcación de la bifurcación de la línea de vapor.

4. LINEAS DE SERVICIO.

Las líneas de servicio cubren el área del Laboratorio que está ocupada por los equipos. Para este fin se colocó la tubería en un sistema aéreo de 4 metros de altura sobre soportes angulares separados de 3 metros de distancia, así se logra un soporte uniforme que resista el peso de la misma. En cada angular la tubería va sujeta con anillos, los que van atornillados al soporte.

Al igual que la mayoría de equipos, los angulares se fijaron a la pared con tornillos de expansión. Estos al introducirlos a la pared tienen a ensancharse, haciendo presión hacia los lados del agujero, de este modo se sujeta mejor el accesorio o equipo.

Ya teniendo establecidas las áreas destinadas a cada equipo o sistema (Planos #2 y #3), se bajaron las líneas de los fluidos que requiere cada equipo. Todas las acometidas se dejaron a 1 metro del suelo ya que se consideró que dicha altura es adecuada para la alimentación de los equipos.

Del lado sur se bajó una línea de agua y otra de aire (Planos #2 y #3), a un canal que conduce dichas tuberías al centro del Laboratorio y que permite surtir de agua a la torre de enfriamiento y al sistema de filtración, y surtir de aire al filtro. Además, del lado norte se bajó otro ramal del agua que se fundió en el suelo y se extendió al centro del

Laboratorio para surtir los tres bancos de fluidos, (Planos #2 y #3).

La tubería se diseñó de hierro galvanizado debido principalmente a su bajo costo, se instalaron 67 metros de tubería de 1", 32 metros de 3/4" y 15 metros de 1/2" cédula número 40; además los tubos de hierro galvanizado soportan adecuadamente la presión que llevan los fluidos, en especial la del vapor que es de 75 PSI, ya que estos tubos están fabricados para soportar tensiones máximas de 6000 PSI, Perry (1973:6-38) o presiones de vapor a 400°F de 247.3 PSI, Timmerhaus (1980:949). La corrosión no causa problemas a la tubería de servicio ya que están al aire libre sin contacto con vapores corrosivos o en canales donde no pueda evitarse estancamiento de líquidos.

La tubería de hierro galvanizado tiene otras ventajas: es de usos muy diversos, puede cortarse y hacerse roscas con equipo convencional; además la gran mayoría de accesorios necesarios se encuentran en plaza en Guatemala.

El uso más común para la tubería de hierro galvanizado es la conducción de agua y vapor y aquí no fue la excepción, aunque la conducción del vapor conlleva un problema: las pérdidas de energía. Por eso se aísla la tubería con algún material de baja conductividad térmica; ya que un aislamiento apropiado puede reducir las pérdidas de energía en un 95% y

contribuir a mantener la presión de vapor requerida en los equipos instalados, (ICAITI-ENERGIGRAMA #4, ANEXO G).

Uno de los materiales más utilizados como aislante es la fibra de vidrio, ya que tiene una conductividad térmica "k", bastante baja comparada con los de los otros aislantes ($k = 0.4 \times 10^{-4}$ BTU/Hr. ft °R), Perry (1973:11-50) y como su uso es frecuente, existe un buen surtido en el comercio; además en la actualidad se vende fibra de vidrio en cánulas lo que facilita su instalación y por lo tanto, reduce los costos.

La eficiencia de la fibra de vidrio al aislar la tubería y bajar costos de consumo de energía, superan el alto costo del aislamiento por lo que la instalación de 106 pies de fibra de vidrio de forma semicilíndrica de 1" de espesor, Perry (1973:11-53), queda justificada, (Anexo G).

Toda la tubería, accesorios y equipos en las líneas de servicio se pintaron de acuerdo a la norma ICAITI #19017. (ANEXO E).

5. TORRES DE DESTILACION, ABSORCION, ENFRIAMIENTO Y EXTRACCION.

5.1 CRITERIOS DE UBICACION

Estas cuatro torres se instalaron en el lado sur del Laboratorio. La de destilación se encuentra contiguo a la entrada principal del Laboratorio. La torre de enfriamiento se colocó enfrente a la de destilación, quedando el ventilador del lado de la entrada, las otras dos torres están más adentro del Laboratorio, hacia el lado sur, (Anexo N, Planos #2 y #3).

Las torres de destilación, absorción y extracción se pusieron juntas en un área determinada (Planos #2 y #3), debido a que se instalará en el futuro un mezzanine que cubrirá toda esa área. Este mezzanine tiene como función facilitar el acceso a estas tres torres, ya que por su altura es difícil trabajar en ellas, especialmente si se tienen que subir herramientas o recipientes de muestreo a la parte alta de laguna de las mismas. Además evitaría que se produzca algún accidente como: la caída de alguna herramienta o recipiente que pueda golpear a alguien.

La torre de absorción está instalada entre las torres de destilación y extracción; esta torre quedó instalada en ese lugar más que todo por razones de estética, a fin de colocar las torres de acuerdo a su altura: de la más alta (de destilación) a la más baja (de extracción).

Se eligió instalar la torre de enfriamiento frente a la entrada más grande (4 x 4 metros), ya que es donde entra más aire fresco y es necesario que pueda ser succionado por el ventilador de esta torre, para enfriar el agua caliente del condensador con mayor rapidez (Plano #3). Los demás lugares en el Laboratorio o están rodeados de paredes donde no existe una buena circulación de aire fresco (necesario para el funcionamiento de esta torre) o están cerca de equipos que generen calor durante su operación.

Además, al ser necesario enfriar el agua caliente que sale del condensador de la torre de destilación, y ubicar la torre de enfriamiento frente a la de destilación, permite instalar menor longitud de tubería para conectar ambas torres.

5.2 DIMENSIONES, MATERIALES, INSTALACIONES Y FUNCIONES DE LAS TORRES.

5.2.1. TORRE DE DESTILACION Y TORRE DE ENFRIAMIENTO.

Desde la pared donde está la torre de destilación hasta el sistema de filtración, que se encuentra en el centro del Laboratorio, se construyó un canal de concreto de 30 cms. de ancho por 20 cms. de profundidad, donde van colocadas la tubería de agua fría y caliente, la de aire y la de agua municipal, (Planos #2 y #3). El canal pasa en medio de la torre de destilación, por lo que los condensados de ésta

torre son llevados a este canal y de allí al drenaje.

La torre de enfriamiento se instaló sobre dos soportes en forma de rieles, dejando abajo, a los lados, espacio libre por donde se pueda limpiar el suelo y la parte inferior de la torre para evitar así estancamiento de agua y de polvo.

Entre el condensador situado en la parte superior de la torre de destilación y la torre de enfriamiento existe un sistema de circulación de agua: (Anexo N, Planos #7 y #8), del condensador sale agua caliente que es transportada a la torre de enfriamiento para enfriarla; como el condensador está más alto, el agua circula entre éste y la torre de enfriamiento por gravedad.

Con el aire suministrado por el ventilador y el área de contacto en la torre de enfriamiento, el agua es enfriada y depositada dentro de la misma; luego, por medio de una bomba de 1/2 HP se envía el agua fría de regreso al condensador.

En la torre de destilación por el intercambio de calor con el vapor producido en esta torre, vuelve a calentarse el agua fría y se repite el ciclo nuevamente.

Al realizar pruebas con este equipo se observó que por pérdidas debidas a fugas, evaporación y aumento de humedad del aire de salida respecto al de entrada, el volumen de agua fría que sale de la torre de enfriamiento era menor que el volumen de agua caliente que entra a la misma; por lo que,

para realizar un adecuado intercambio de calor con el vapor del sistema que se está destilando, en el condensador es necesario añadir al agua fría que sale de la torre, agua de fuera del sistema o "make up".

Si por alguna razón, la torre de destilación no se estuviera utilizando y es necesario operar la torre de enfriamiento sola, entonces se cierra la llave de la tubería donde circula el agua fría al condensador y la bomba de la torre de enfriamiento la envía de regreso a la parte superior de la misma, donde se colocó una resistencia eléctrica que calienta el agua fría, (Plano #7 y #8), para luego introducirla a la torre y enfriarla, repitiéndose así el ciclo. Para el transporte del agua fría y caliente se utilizó tubería de hierro galvanizado de 1" de diámetro, por ser la más adecuada por las razones ya indicadas.

El principal problema que se observó en la operación del sistema es que la ducha con resistencia eléctrica ofrece bastante resistencia al flujo de agua, lo que provoca una caída de presión. Entonces, al tener agua caliente del condensador, es aconsejable quitar la resistencia eléctrica de la línea para evitar esta alta caída de presión e instalarla sólo cuando sea imprescindible, ya que para vencer esa caída de presión se necesita un flujo de agua grande lo que causa un consumo más alto de energía eléctrica y por ende, mayores costos de



operación. Además se observó que aun con este fuerte flujo de agua. el caudal de agua caliente que sale de la resistencia es bajo, restringiendo más su uso. Pero a pesar de lo anterior, este es el medio más rápido, de más fácil instalación y barato de operación, para calentar el agua en la torre de enfriamiento.

Aparte del agua utilizada en el condensador, el otro fluido empleado en la torre de destilación es el vapor; éste se introduce en el calderín, donde también se alimenta la caga de la mezcla a destilar (Anexo N, Planos #9 y #10). El vapor es conducido a la torre por medio de tubería de hierro galvanizado de 3/4"; luego circula dentro del calderín en una serie de tubos. Al perder su entalpía por el intercambio de calor, la mayor parte del vapor es condensado, reteniéndose en la trampa de vapor; los condensados son llevados al canal de desagüe que pasa debajo de la torre, (Plano #10).

Si se utiliza reflujo total no se obtiene el producto destilado, si no se regresa su totalidad a la torre, mientras que al usa reflujo parcial o ningún reflujo, el producto puede ser recogido en la salida de producto de cabeza situada en la parte inferior de la torre, al final del tubo que sale desde el condensador, (Planos #9 y #10).

Al realizar pruebas de operación se verificó que la torre de destilación tiene un funcionamiento irregular, lo que se

refleja, principalmente, en las eficiencias de Murphree de cada plato, llegándose a obtener una eficiencia de 170% en el primer plato y de 25% en el plato #7 (Plano #10). Se notó mayor consistencia en las temperaturas, ya que a partir del plato #8, en los platos situados arriba de éste, la temperatura en cada plato fue disminuyendo lo que está acorde con los resultados esperados. Ya que al ser la mezcla en los platos inferiores más rica en agua que la de los platos superiores, y como el punto de ebullición del agua (100°C) es más alto que en el etanol (78.4°C), Perry (1973:3-34), entonces a medida que la mezcla sube del plato 10 al 1 (Plano #10), va a ir perdiendo agua y así su proporción de etanol se hace más alta, lo que disminuye la temperatura dentro de cada plato, al subir la condensación de etanol que es más volátil, (Anexo I).

5.2.2. TORRE DE ABSORCION

La torre de absorción se apoya sobre paraleles de la estructura metálica que la levanta del nivel del piso, con ello se evita que cualquier fluido derramado penetre en la torre o alguno de sus equipos auxiliares y los dañe.

Uno de los fluidos de las líneas de servicio que se suministra a la torre de absorción, es el agua, que en este caso se utiliza como absorbente. La tubería de agua se conecta a

la entrada específica, que tiene una válvula de "check", que evita el regreso del flujo; de allí se lleva al tanque de alimentación y luego con una bomba de 1/8 HP se eleva a la parte superior de la torre, pasando por un rotámetro que mide el caudal en litros/min. El agua es transportada a su entrada específica en una manguera de plástico de 1" de diámetro nominal, (Anexo H, Plano #11).

El aire, otro de los fluidos de servicio requerido por esta torre, no es suministrado actualmente por las líneas de servicio del laboratorio, sino por un compresor de 1/2 HP, que al igual que la bomba, forman parte del paquete adquirido. Su flujo es medido por otro rotámetro en pies³/min.

El otro fluido utilizado en la torre es el que se mide como soluto en la absorción, que es comúnmente el anhídrido carbónico (CO₂) y se utiliza en la siguiente forma: del cilindro el CO₂ es llevado a un tercer rotámetro que mide su flujo en pies³/min. y de allí pasa a una unión en "Y" donde se mezcla el flujo del CO₂ con el del aire, para luego, ya mezclado ser introducidos en la parte inferior de la torre empacada. De esta forma con los anillos "Rasching" de vidrio de 1" de diámetro cada uno, que funcionan como empaque, la mezcla aire-anhídrido carbónico y el agua al fluir efectúa la absorción del CO₂ por el agua, Treybal (1980, cap. 8).

5.2.3. TORRE DE EXTRACCION

La torre de extracción es la más pequeña de las torres.

Su armazón metálica está apoyada sobre una base de concreto de 15 cms. de altura. Este soporte evita que agua o cualquier otro líquido que esté en el suelo, penetre y dañe la torre o alguno de sus elementos. Para mover el empaque dentro de la torre, se usa un motor de 1/4 HP que opera un brazo excéntrico que mueve el empaque de arriba hacia abajo a velocidades variables y ajustables, (Anexo N, Plano #12). El motor está colocado en la parte superior de la torre, sobre la armazón metálica, y está conectado a una fuente eléctrica de 110V.

La torre de extracción utiliza tres fluidos para trabajar, dos de ellos se mezclan antes de alimentarlos en la parte superior de la torre, estos pueden ser el agua y el ácido acético, por ejemplo. El otro fluido, el solvente, se alimenta en la parte inferior de la torre para que fluya en contracorriente con la mezcla antes mencionada. Este fluido puede ser eter etílico por ejemplo.

Este fluido, al ser miscible solo con el ácido acético que es el soluto a extraer y no con el agua, extrae el ácido de la mezcla y se obtiene el extracto que es una nueva mezcla (éter-ácido) en la parte superior de la torre y el refinado (agua con el poco de ácido que quede) se obtiene en la parte

inferior de la torre.

El paquete adquirido con la torre de extracción no incluía: las bombas de alimentación, los depósitos de refinado, extracto y alimentación. Por esta razón será necesario adquirir dos bombas: una para alimentar la mezcla ácido-agua en la parte superior de la torre de extracción y la otra para alimentar el solvente en la parte inferior. En ambos casos será necesario un depósito para mantener almacenado el fluido que va a bombearse y como también es necesario dosificar ambos fluidos de alimentación con rotámetros, estas bombas tienen que ser de velocidad variable.

Para almacenar el refinado obtenido en la parte inferior y el extracto obtenido en la parte superior de la torre, se necesitan otros dos depósitos. Estos cuatro depósitos deben de cerrar herméticamente, para evitar la fuga de compuestos volátiles y la entrada de polvo e impurezas.

La torre de extracción al carecer del equipo auxiliar mencionado anteriormente, obligó a realizarle algunas modificaciones: se cambió la ubicación de la entrada de la mezcla a la que se le extraerá un componente (mezcla ácido-agua), la salida del extracto y el recipiente de vidrio donde se observa la interfase, de la parte superior a la parte de en-
medio de la torre, dejando la entrada del solvente y la salida del refinado como venían en el paquete original; en la parte

inferior. De esta forma, el colocar los depósitos de la mezcla de extracción (mezcla ácido-agua) y del solvente en un lugar alto, (ambos flujos se transportan por gravedad a la parte central e inferior de la torres respectivamente) y los depósitos que reciben el refinado y el extracto se colocan al nivel del suelo, no se necesita usar equipo de bombeo.

El problema que se presenta en este caso, es la falta de utilización de la mitad de la torre y del empaque que ayuda a la transferencia de masa, por lo cual existe menor eficiencia de extracción.

De ahí que la operación de la torre será más eficiente hasta que se realice empleando el equipo auxiliar indicado, mientras tanto, se ha logrado hacerla funcionar con las modificaciones efectuadas.

6. SISTEMA DE BANCOS DE FLUIDOS

6.1 BANCO DE MEDIDORES # 1

Para su empleo en el Laboratorio se adquirieron tres bancos de fluidos, uno de ellos llegó totalmente armado, con su estructura sobre ruedas para facilitar su traslado de un lugar a otro, con manómetros diferenciales de agua y mercurio, un rotámetro para variación de flujo, un venturi, dos bombas de 1 HP, un medidor de velocidad del motor de la bomba, un medidor de potencia, un tanque de alimentación y varias clases de vertederos, G. Cussons Ltd. (Instruction Manual).

Este banco se colocó al centro del Laboratorio, (Planos #2 y #3); la alimentación del agua es "batch" y como el sistema es de ciclo cerrado no necesita de otra alimentación adicional de agua o "make-up". Para evitar que se formen lodos al caer polvo dentro del tanque de alimentación de agua, es necesario taparlo al hacer las mediciones y cuando éstas concluyen se debe de tirar el agua utilizada, renovando el agua cada vez que se inicie un nuevo período de pruebas.

Se recomienda la utilización de agua destilada para evitar la aparición de escamas o costras que el agua no tratada (agua dura) forma en las paredes del sistema.

6.2 BANCO DE MEDICION DE CAIDAS DE PRESION EN TUBERIAS Y ACCESORIOS

El otro banco de fluidos está sujeto a un marco de Plywood con revestimiento de fórmica blanca. Este banco es un sistema de tuberías de diferentes diámetros y rugosidades internas con distintas clases de accesorios (codos, filtros, reducciones, expansiones), rotámetro con válvula de regulación de flujo, y un venturi; además tiene varias tomas de presión antes y después de cada sección de tubo o accesorio importante, para poder conectar los manómetros diferenciales de agua y de mercurio; este sistema facilita el estudio de las caídas de presión, G. Cussons Ltd. (Instruction Manual).

Para colocar este banco se construyeron al centro del Laboratorio dos columnas de concreto de 2.10 metros de altura, en donde el banco fue elevado del suelo 1.1 metros (Anexo N, Plano #13).

Debido a que el agua tiene que pasar por diferentes tipos de tubos y accesorios, se tiene una caída de presión a través del banco, por lo que para obtener lecturas adecuadas en los manómetros, es decir, un diferencial fácilmente visible entre las dos columnas del manómetro, se debe de tener un flujo adecuado en la entrada para lo cual se necesita de una bomba con suficiente potencia para vencer esa alta caída de presión.

Como este banco no traía un depósito de alimentación de agua ni la bomba de abastecimiento, se adquirió localmente una

bomba centrífuga de 1.5 HP, (Anexo J).

Para la alimentación de agua se fabricó en un taller local, un tanque con tapadera de lámina negra de 55 galones de capacidad. El tanque se colocó sobre una base de concreto de 9 cms. de altura y de 8 X 8 metros. Alrededor del fondo del mismo se construyó un canal circular de 3 cms. de ancho, con un desagüe al exterior de la base. Este canal circular sirve para evitar estancamientos de agua que podrían corroer el fondo del tanque.

La bomba de 1.5 HP también se colocó sobre una base de 6 cms. de altura, de esta forma al estar a la altura del tanque de alimentación, a la bomba le llega el agua por gravedad a través de tubería horizontal, lo que facilita el cebado de la bomba. La instalación se hizo con un mínimo de accesorios para disminuir la caída de presión por los mismos. De igual manera se minimizaron las pérdidas en la salida del agua, al colocar la tubería de descarga que está dirigida hacia el tanque de alimentación, detrás del banco; así se evita que la tubería interfiera en el manejo de accesorios y manómetros que están en el lado de enfrente del mismo (Plano #13).

Toda la tubería instalada en el banco es de hierro galvanizado de 1" de diámetro (Anexo F) y fue pintada de acuerdo a la norma ICAITI #19Ø17 (Anexo E).

6.3 BANCO DE MEDIDORES # 2

El tercer banco tiene una estructura con ruedas y es similar al otro banco de medidores. Tiene dos bombas con motores de 1 HP, un rotámetro con válvula de variación de flujo de entrada, un medidor de potencia, un tacómetro (medidor de velocidad de rotación del motor), un tanque de alimentación con tapadera, manómetros diferenciales y de carátula, G. Cussons Ltd. (Instruction Manual).

Su funcionamiento es similar al otro banco de medidores, tiene un sistema de alimentación de agua "batch". Por tratarse de un sistema cerrado, para operarlo se recomienda utilizar solo agua destilada, tapar el tanque de alimentación y renovar el agua al iniciar una nueva serie de mediciones.

La potencia del motor de estas bombas es de 1HP y el caudal que proporciona es suficiente para proporcionar lecturas bien visibles en los manómetros al estudiar las caídas de presión los accesorios y medidores de flujo.

El agua utilizada para llenar los tanques de los tres bancos es conducida en tubería de hierro galvanizado enterrada en concreto, fundida en el piso desde la línea de servicio que está en el canal del Laboratorio, hasta el lugar donde se encuentran los tres bancos, dejando seis acometidas para surtir adecuadamente de agua a los tres sistemas de fluidos, (Plano #2 y #3). Toda esta tubería fue pintada de acuerdo a la norma ICAITI #19017 (anexo E).

BANCOS DE FLUIDOS

Cuadro sinóptico:

DESCRIPCION

EQUIPO ADICIONAL

Banco # 1

Estructura con ruedas
alimentación "batch"
utiliza agua destilada

manómetros diferenciales, rotámetro
con válvula, venturi, dos orificios,
dos bombas de 1 HP de corriente mono-
fásica, medidor de la potencia de las
bombas, tanque de alimentación, medi-
dor de turbina, vertederos, medidor
de agujeros, uso de energía eléctrica
110V.

Banco # 2

Marco de playwood con
fórmica blanca, colo-
cado en dos columnas
de concreto, sistema
de tubería de dife-
rentes grosores y ru-
gosidades internas
con distintas clases
de accesorios, alimen-
tación con un tanque de
55 galones.

rotámetro con válvula de regulación
de flujo, venturi, manómetros dife-
renciales de agua y mercurio, bom-
ba centrífuga de 1.5 HP, trifásica,
tubería de hierro galvanizado de 1"
de diámetro, uso de energía eléc-
trica 220V.

Banco # 3

Apoyó estructura con
rueda, alimentación
"batch", utiliza a-
gua destilada

dos bombas de 1 HP, rotámetro con
válvula de variación de flujo de
entrada, medidor de la potencia
de las bombas, manómetros dife-
renciales, tanque de alimenta-
ción, corriente monofásica, uso
de energía eléctrica 110V.

7. SISTEMA DE FILTRACION.

Con este equipo se pueden obtener datos de resistencia del medio filtrante (R_m), resistencia de la torta ó cake (α) y la compresibilidad de la torta (s) a una presión dada; estos parámetros son representativos del funcionamiento de filtro, Mc Cabe (1976,932-942).

El filtro, Mott Metallurgical (Anexo Ø), fue adquirido sin el equipo auxiliar y accesorios, por lo que todo eso tuvo que ser adquirido localmente. Entre los equipos auxiliares se incluye: tanque de alimentación de la mezcla, tanque del líquido filtrado y una bomba con motor de 1 HP de potencia.

Ambos tanques (el de alimentación y el de filtrado) se colocaron sobre bases de concreto de 20 cms. de alto y de 0.8 x 0.8 metros, los cuales tienen un canal circular de 3 cms de ancho alrededor del fondo del mismo, con un desagüe hacia afuera, esto evita que el agua se acumule y pueda corroer el fondo (Anexo N, Plano #14).

En el tanque de alimentación se hace la mezcla de agua con el sólido a filtrar o soluto, a la concentración deseada; la mezcla es bombeada al filtro por medio de una bomba de desplazamiento positivo de 1 HP (Anexo K).

El filtrado al salir del filtro va completamente limpio sin sólidos y se envía al tanque de almacenamiento de agua

filtrada.

La bomba también fue colocada sobre una base de concreto de 12 cms. de altura y de $\emptyset.25 \times \emptyset.6$ metros, de esta forma la salida del tanque de mezcla está a la altura de la entrada de la bomba, y se utilizó tubería horizontal para su interconexión (Anexo N, Plano #15d). El filtro se colocó sobre una base de concreto de 15 cms. de altura, evitando así que tenga contacto con los líquidos derramados en el suelo y, además, para que la purga del retrolavado pueda ser recolectada sin dificultad por medio de cubetas o baldes (Anexo N, Plano #15b).

En la entrada y salida del filtro se utilizó la menor cantidad de accesorios y tubería, tratando así de minimizar caídas de presión y utilizar al máximo la potencia del motor de la bomba.

Para el retrolavado se pueden utilizar dos fluidos: el agua y el aire. Esta operación sirve para limpiar el medio filtrante (candela de acero inoxidable porosa) de todo el lodo ("cake") acumulado y se realiza así: (Plano #15 a,b) al terminar de hacer una filtración se para la bomba de alimentación, luego se abre la válvula para dejar entrar el agua municipal que fluye en dirección opuesta al flujo normal, también se puede pasar aire en esa misma dirección, de esta forma se desprende el "cake" del medio filtrante, saliendo los lodos por la parte inferior del filtro, a través de la válvula de

purga. Así el equipo queda limpio para hacer otras filtraciones.

El aire comprimido pasa por un filtro especial antes de entrar al equipo, una válvula de globo sirve para regular el flujo del aire hacia el filtro, una válvula reductora de presión baja la presión que trae el aire desde el compresor hasta la presión máxima de trabajo de 200 PSI, que el filtro requiere, Mott Metallurgical (instrumentation, Valving and Plumbing Installation of the Filter). Existen además, dos manómetros, uno indica la presión interna del filtro y el otro, la presión del aire en el período de retrolavado.

El compresor Colt Industries de 20 HP de potencia no está instalado actualmente, por lo que para hacer el retrolavado con aire comprimido, se instaló provisionalmente un compresor pequeño Ingersoll Rand de 3/4 PH. El acople del compresor al sistema, se hizo con una manguera de presión que une el compresor directamente con la válvula reguladora, eliminando la válvula de globo instalada originalmente, sin cambiar los demás accesorios. Con este compresor, se alcanza una presión de 90-100 PSI lo que permite el flujo apropiado de aire comprimido para este sistema.

El canal construido al sur del laboratorio, desde la torre de destilación hasta la torre de enfriamiento (Planos #2 y

#3), fue extendido para cubrir el área del sistema de filtración. Allí se instaló la tubería de servicio de agua y aire que surten al sistema. Además sirve de drenaje de toda el agua o mezcla derramados en el área de filtración. Para facilitar el paso en los alrededores del canal, fue instalada una rejilla de metal.

La tubería utilizada para el transporte de los fluidos en este sistema es de hierro galvanizado de 1" de diámetro para el agua y de 1/2" de diámetro para el aire comprimido (Anexo F). La tubería principal de agua se colocó al centro del sistema, entre los tanques de alimentación y de filtrado. La alimentación de agua se efectúa por la tubería que sube del nivel del suelo y se acopla a la entrada de ambos tanques en la parte superior (Planos #14 y #15a). El agua que se alimenta al tanque de mezcla también sirve para lavarlo.

En ambos tanques, cerca del fondo se instaló una salida, de esta forma se puede purgar casi la totalidad del líquido almacenado. Además esta salida está conectada hasta el canal de recolección de líquidos para evitar estancamientos cerca de los tanques que los pudieran corroer o dar mal aspecto, (Planos #14 & #15c).

El filtrado se conduce al tanque por tubería de hierro galvanizado de 1" de diámetro nominal que ingresa en la parte superior del mismo, donde queda almacenado para su medición para lo cual se utiliza un nivel de vidrio acoplado al tanque.

Si fuera necesario emplear el filtrado para preparar otra nueva mezcla en vez del agua fresca, la tubería de filtrado posee un ramal que conecta al tanque de mezcla, (Planos #14 & #15c).

Para lograr que la mezcla llegue al filtro con la presión de bombeo adecuada, se procede de la siguiente manera: (Anexo N, Plano #15d), se envía parte del flujo de la mezcla de regreso al tanque (línea 1) y parte al filtro (línea 2) por medio de un sistema de recirculación; en el manómetro colocado en el filtro se lee la presión dentro del mismo graduándose el flujo en cada una de las dos direcciones por medio de las válvulas correspondientes (L1 & L2), hasta que se obtiene la presión deseada dentro del equipo. La máxima presión permitida dentro de este equipo es de 200 PSI, Mott Metallurgical (Instrumentation, Valving and Plumbing Installation of the Filter).

8. INTERCAMBIADORES DE CALOR

8.1 Aspectos de diseño e instalación.

Se cuenta con dos intercambiadores de calor marca TEC-QUIPMENT (Anexo 0), uno es de tubos concéntricos y el otro de concha y tubos. Ambos se instalaron en la parte norte del Laboratorio, al lado de la caldera (Planos #2 y #3). Los intercambiadores por su tamaño, no se podían colocar directamente sobre el suelo por lo que se construyó una mesa de metal de 0.9 metros de alto y de 2.4 X 0.6 metros, (Anexo N, Plano #16), sobre la cual se colocaron los dos intercambiadores de calor.

Para surtirlos del agua y vapor que utilizan se conectó una bajada de la línea aérea principal de cada fluido; de cada bajada sale un tubo hacia el banco de intercambiadores, que luego se bifurca y surte a cada equipo independientemente. Estos fluidos entran a los equipos en contracorriente, es decir, el agua fluye en dirección contraria a la del vapor. Así se logra un mejor intercambio de calor del vapor al agua, Kreith (1973, 562-571).

A pesar de utilizar una sola derivación para cada fluido, la cantidad de tubería utilizada es bastante grande, considerando el tamaño de los equipos. Esto se debe a que existen dos entradas y dos salidas por cada fluido conectadas en la

forma ya indicada. Cada entrada y salida tiene accesorios y

válvulas, las cuales sirven para regular el flujo del agua y vapor dentro de los intercambiadores y obtener el intercambio de calor deseado (Plano #16). Para que los condensados del vapor salgan de los intercambiadores por gravedad, se hizo necesario conectar el vapor a los tubos y no a la concha, ya que la dirección de la salida de los tubos es hacia abajo.

Cerca de la línea del vapor se instaló una válvula reductora de presión que sirve para fijar la presión máxima de vapor (25 PSI). Esta presión es relativamente baja, ya que los intercambiadores fueron diseñados originalmente para operar con agua fría y agua caliente y no con vapor, haciéndose necesario controlarla adecuadamente ya que una presión muy alta (y por consiguiente, una temperatura alta) podría fundir las soldaduras de los tubos y/o de la concha, lo que causaría fugas.

El cambio del fluido de calentamiento se hizo principalmente para bajar costos, ya que al usar agua caliente, se necesitaría un equipo adicional (eléctrico o de otro tipo) para calentar el agua, además de toda la tubería y accesorios para su conexión, una bomba y un tanque de almacenamiento; mientras que al existir vapor disponible y si se opera con presiones moderadas, estos equipos trabajan correctamente y

sin problemas; esto quedó demostrado al operar uno de los

intercambiadores a 25 PSI de presión de vapor.

Aparte de esta modificación, se cambiaron los portatermómetros; estos originalmente eran de teflón, el cual es un material que resiste adecuadamente las temperaturas altas, pero que no tiene resistencia a las cargas por impacto, lo que dificulta cambiar los termómetros y podrían causar accidentes. Para evitar tales riesgos se cambiaron estos accesorios (reductores y coplas) por otros de hierro galvanizado que resisten los golpes mecánicos y las altas temperaturas, Perry (1973, 23-38).

Los condensados producidos son enviados hacia el drenaje a través de un sistema con trampa de vapor semejante a los instalados en los extremos de la línea de servicio de vapor, (Anexo N, Planos #6 & #16)

La tubería en este sistema de intercambiadores, al igual que toda la instalación en el laboratorio, es de hierro galvanizado, de 1" de diámetro para el agua y de 3/4" de diámetro para el vapor, esta última tiene un aislamiento térmico de fibra de vidrio de 1" de espesor para disminuir las pérdidas de calor y utilizar la mayor parte del calor de vapor para ser transferido al agua. (Anexo G).

(El caudal de agua hacia los intercambiadores se mide por medio de un orificio instalado en la línea con un manómetro

diferencial de mercurio. La presión del vapor dentro de los

intercambiadores se mide por un manómetro de carátula, que dan una lectura fácil; con éstos y los termómetros ya mencionados se obtienen los datos de operación necesarios para el estudio de estos equipos.

8.2 ASPECTOS DE OPERACION

* Los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en el Laboratorio indican que a una presión constante de vapor, a medida que aumenta el caudal de agua, la eficiencia del intercambiador disminuye, (Anexo L, Gráfica L1). Los resultados obtenidos a 5 PSI de operación con flujo de $\emptyset.25 - \emptyset.85 \text{ m}^3/\text{HR}$ ($4.17 - 14.17 \text{ lt/min}$) dan eficiencias de 51% a 32% respectivamente (Anexo L).

Al aumentar la presión de operación del vapor a 7 PSI, se observó que con los mismos caudales de agua, la eficiencia del intercambiador no aumenta como debería, (ahora hay un mayor flujo de vapor, con los mismos caudales de agua, por lo que teóricamente se tendría un mayor intercambio de calor). La razón de que se obtuvieran temperaturas de agua de salida similares a las obtenidas a 5 PSI, es que el intercambiador de tubos concéntricos a 7 PSI ya no es más eficiente. Para los caudales de agua de $\emptyset.25 - \emptyset.75 \text{ m}^3/\text{HR}$ ($4.17 - 12.5 \text{ lt/min}$) se tienen eficiencias de 47% - 31.1% respectivamente, a 7 PSI de

operación, (Anexo L).

Los flujos de agua son medidos con un medidor de orificio. De dicho medidor fue calibrado según (Anexo M, Gráfica M1), de donde se obtuvo el valor del coeficiente del orificio (C_o) igual a 0.49, (que no es igual al que indica la literatura de 0.61, McCabe (1976:210)).

Al calcular los valores del Número de Reynolds (N_{re}) con distintos flujos de agua, se comprobó que todos estos eran menores de 20.000, por lo que el C_o no debe necesariamente coincidir con el indicado de 0.61 según McCabe. Además es importante tener suficiente longitud de tubería recta antes y después del orificio para asegurar que existe un flujo normal sin distorsión por accesorios (la distancia mínima entre las tomas para el manómetro situado antes del orificio debe ser 2.5 veces el diámetro de la tubería y la toma situada después del orificio debe ser de 8 veces el diámetro de la tubería); de otro modo la distribución de velocidad no será normal y el coeficiente del orificio será afectado de una manera impredecible.

Toda la tubería, accesorios y equipo fueron pintados de acuerdo al código de colores, norma ICAITI #19017, (Anexo E).

9. EVAPORADOR

El evaporador marca Corning (Anexo 0) se instaló en la parte norte del Laboratorio, al lado del sistema de suavización de agua de la caldera, (Planos #2 & #3). Este sistema de evaporación está compuesto en su mayor parte de piezas de vidrio, ideales para la enseñanza del proceso de evaporación, aunque dicho equipo es bastante delicado de instalar por el cuidado especial que hay que tener para no golpearlo con herramientas o al operarlo (debido principalmente a que en Guatemala no existen repuestos para este sistema; además su costo es muy elevado y el tiempo de entrega es muy largo, lo que obligaría a paralizar el sistema indefinidamente).

La estructura que sostiene todo el sistema de evaporación es de hierro galvanizado de 1.5", (Anexo N, Plano #17).

El evaporador tiene como función primordial separar los distintos compuestos de una mezcla, para lo cual se utilizan dos fluidos de las líneas de servicio: agua y vapor. El agua, antes de entrar al sistema, pasa por un filtro en "Y" que evita que entre al sistema sólidos y carbonatos que podrían llegar a obstruir algún accesorio, tubo o equipo. En la línea de entrada del vapor se colocó una válvula que reduce la presión de 75 PSI a la presión de trabajo del vapor dentro del sistema, 5 PSI. Y para controlar el flujo de entrada del

vapor al evaporador se instaló una válvula reguladora.

La línea de agua se conecta principalmente a los condensadores como fluido frío; cuando el agua ya está caliente, se bota al canal de desagüe situado al medio del Laboratorio.

El agua además de utilizarse como fluido frío, también puede usarse como líquido a evaporar alimentado al balón principal (1) (Anexo N, Planos #17 & #18). El agua es calentada por medio de vapor en un intercambiador con serpentín (2).

El agua caliente (líquida con burbujas de vapor) entra al balón principal (1) y se evapora, la ebullición del agua en el intercambiador con serpentín (2) succiona hacia éste (a través de la salida inferior del balón principal), una cantidad de agua debido al efecto de termosifón. Esta recirculación ayuda a una evaporación completa de la mezcla, sin necesidad de utilizar una bomba de alimentación.

El vapor de la mezcla es luego separado del agua que arrastra, en una columna empacada con "anillos Rasching" (3), (Planos #17 & 18). El vapor luego pasa a los condensadores (4) produciéndose así los productos finales líquidos que se almacenan en balones de vidrio.

Toda la tubería de conducción de fluidos y los tubos de la estructura de soporte, fue pintada de acuerdo al código de colores, norma ICAITI #19017, (Anexo E).

10. INSTALACIONES ELECTRICAS

UNIDAD	MOTOR	NOMBRE Y USO
Caldera	1HP, 220V, 15amp	Ventilador, tiene flipón de 15 amp.
Sistema de suavización	½HP, 220V, 15amp	Bomba. Envía los condensados de su tanque al tanque de alimentación.
	3HP, 220V, 15amp	Bomba del tanque de alimentación de la caldera. Ambos motores tienen flipones de 15 amp.
Torre de enfriamiento	1HP, 220V	Ventilador.
	½ HP, 220V	Bomba. Envía el agua fría al condensador de la torre de destilación.
Torre de absorción	½ HP, 220V	Compresor. Envía el aire + CO ₂ a la parte inferior de la torre,
	1/8HP, 220V	Bomba. Envía el agua a la parte superior de la torre.
Torre de Extracción	1/4HP, 115V, 4.4 amp.	Motor. Mueve el empaque de arriba hacia abajo.
Banco de medidores # 1	1HP, 110V	
Banco de Medidores # 2	1HP, 110V	Bombas. Hacen circular el agua dentro de cada banco.
Banco de caídas de presión.	1.5HP, 220V	
Sistema de filtración	1HP, 220V 3.06 amp.	Bomba. Envía la mezcla al filtro y el filtrado a los tanques.

Excepto el motor de la torre de extracción y las bombas de los dos bancos de medidores que consumen corriente (110V) monofásica, el resto de equipo utiliza corriente trifásica (220V). Esto se debe a que, a pesar de que el costo inicial de un motor trifásico es más que el de uno monofásico, esta diferencia en costo es menor a la que existe en consumo de electricidad al operar los dos tipos de motores (el motor trifásico al ser más eficiente, consume menos corriente), especialmente si se considera el elevado valor del KWH en Guatemala, Q.17Q/KWH, ICAITI (1984: 9-17).

El alambrado eléctrico instalado en el laboratorio es de calibre # 10 (Anexo B) y fue conducido dentro de conduits de 1" de diámetro para su protección. Para facilitar el arranque y operación de los sistemas del Laboratorio se conectaron arrancadores a los motores de cada equipo.

IV APENDICES

ANEXO A

ADQUISICION DE HERRAMIENTAS

De acuerdo a las herramientas necesarias para montar el taller de operación y mantenimiento del Laboratorio, obtenidas del Catálogo Grainger's, se efectuaron dos cotizaciones, la segunda a un año y medio de la primera.

Como la cantidad de dinero estaba limitada, se adjudicó la compra a los almacenes que cotizaron en esta segunda cotización a un precio más favorable.

ANEXO B

ALAMBRADO ELECTRICO

En el Laboratorio se instaló alambrado eléctrico de cobre con aislamiento de plástico resistente al calor. La longitud de las líneas hacia los equipos no excedió de los 50 pies y era necesario una corriente máxima de 15 amperios. Por la escasa longitud de las líneas, la caída de voltaje debía de ser baja por lo que se asumió de un valor de 1 Volt.

La resistencia de una línea de 50 pies en el Laboratorio es,
 $1 \text{ Volt} / 15 \text{ Amp} = 0.067 \text{ Ohm}$.

La resistencia de la misma línea para una longitud de 1000 pies es, $0.067 \text{ Ohm} \times 1000 \text{ pies} / 50 \text{ pies} = 1.33 \text{ Ohm}$.

Según tabla II Timbie(1965,612) para no exceder la caída de voltaje de 1 Volt se debe de usar alambre calibre # 11, pero por no existir en el mercado este calibre para alambre de cobre con aislamiento de plástico resistente al calor, se usó alambrado calibre # 10 que fue el calibre instalado para las líneas eléctricas del Laboratorio.

ANEXO C

CALCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA DEL TANQUE DE RETORNO
DE CONDENSADOS

$P_a = P_b = P$ atmosférica

$V_a = 2$ pies/seg (McCabe, Tabla 8-1)

$V_b = 6$ pies/seg (McCabe, Tabla 8-1)

$\eta = 70\%$, Fluid Movers (1979, 124)

$Z_b - Z_a = 2$ metros

L tubería = 10 metros

Diámetro de entrada/salida de la bomba = 1"

Diámetro de salida del tanque = 2"

Ecuación de Bernoulli, Mc Cabe (1976, 79)

$$\frac{P_a}{\rho} + \frac{g}{gc} Z_a + \frac{\alpha_a V_a^2}{2gc} + \eta W_p = \frac{P_b}{\rho} + \frac{g}{gc} Z_b + \frac{\alpha_b V_b^2}{2gc} + hf$$

$$W_p = \frac{g}{gc} (Z_b - Z_a) + \frac{V_b^2 - V_a^2}{2gc} + hf$$

$$hf = (4f \frac{L}{D} + k_c + k_e + k_f) \frac{V^2}{2gc} \quad \text{Mc Cabe (1976, 109)}$$

$$K_c = 0.4 \left(1 - \frac{S_b}{S_a}\right) \quad \text{Mc Cabe (1976, 108)}$$

$$K_e = \left(1 - \frac{S_a}{S_b}\right)^2 \quad \text{Mc Cabe (1978, 107)}$$

$$K_f \text{ en tabla 5-1} \quad \text{Mc Cabe (1978, 109)}$$

$$N_{re} = \frac{4rh V}{\mu} \quad \text{Mc Cabe (1978, 105)}$$

$$r_h = D/4$$

Mc Cabe (1978, 105)

$$N_{re} = \frac{4 \times \frac{1}{12} \text{ pie} \times 6 \text{ pie/seg} \times 62.4 \text{ lb/pie}^3}{1 \text{ cp} \times 6.7197 \times 10^{-4} \frac{\text{lb-pie/seg}}{\text{cp}}} = 4.6 \times 10^{-5}$$

de Gráfica 5-9 Mc Cabe (1976, 101) se obtiene $f = 0.0034$

$$h_f = (4 \times 0.0034 \times \frac{33 \text{ pie}}{1/12 \text{ pie}} + 0.4 (1 - 1/2) + (1 - 2/1)^2 +$$

$$11 (0.9) + 1(10) \times \frac{(6)^2 \text{ pie}^2/\text{seg}^2}{2 \times 32.2 \frac{\text{pie} \cdot \text{lb}}{\text{lb} \cdot \text{seg}^2}}$$

$$h_f = 14.8 \frac{\text{lbf} \cdot \text{pie}}{\text{lb}}$$

$$0.7 W_p = \frac{\text{lbf}}{\text{lb}} (6.6) \text{ pie} + \frac{6^2 - 2^2 \text{ pie}^2/\text{seg}^2}{2 \times 32.2 \frac{\text{pie} \cdot \text{lb}}{\text{lb} \cdot \text{seg}^2}} + 14.8 \frac{\text{lbf} \cdot \text{pie}}{\text{lb}}$$

$$W_p = 31.3 \frac{\text{pie} \times \text{lbf}}{\text{lb}}$$

$$\dot{m} = Q = V.A.\rho = 6 \text{ pies/seg} \times \pi (0.5/12)^2 \text{ pie}^2 \times 62.4 \text{ lb/pie}^3$$

$$\dot{m} = 2.1 \text{ lb/seg}$$

$$p = \frac{w_p \cdot \dot{m}}{550} = \frac{31.3 \text{ pie} \times \text{lbf}}{\text{lb}} \times 2.1 \text{ lb/seg} = 0.1168 \text{ Hp} \sim 1/8 \text{ hp}$$

Hp a seleccionar = 1.25 Hp calculado
= 1.25 (1/8)
= 1/4 HP

Bombas de 1/4 Hp no habían disponibles en el mercado local.

Hp del motor de la bomba adquirida = 1/2 Hp.

ANEXO D

LA CALDERA

Los cálculos se mostrarán para la apertura de damper de 100%; para observar los resultados de los cálculos para las aperturas de 25%, 75% y 100%, consultar las tablas D.2, D.3, y las Gráficas D.1, D.2 y D.3, al final de este anexo.

D.1) Masa de agua consumida en un ciclo de operación.

Temperatura = 25°C = 77°F

Volumen inicial = 3052.5 gal = 408.1 pies³

Volumen final = 3081.5 gal = 412.9 pies³

Tiempo ciclos = 2.395 seg = 0.67 Hr

$\rho_{\text{agua}} = 62.24 \text{ lb/pie}^3$, tabla 4 Timmerhaus (1980, 940)

masa = $\rho (V_f - V_i) = 62.24 \text{ lb/pie}^3 (412.9 - 408.1) \text{ pie}^3$

masa = 242.7 libras

D.2) Masa del diesel consumido en un ciclo de operación.

TANQUE DE DIESEL

diámetro 0.915 metros

Longitud = 1.88 metros

altura inicial diesel en el tanque $H_i = 68.4 \text{ cms.}$

altural final diesel en el tanque $H_f = 67.6 \text{ cms.}$

tiempo de combustión + 1.356 seg = 0.38 Hr.

$\rho_{\text{diesel}} = 837 \text{ Kg/m}^3$

Volumen del tanque $\pi (r)^2 L = \pi (\emptyset.915\text{m}/2)^2 \times 1.88 = 1.236 \text{ m}^3$

Según tabla 1-5b Perry (1973, 1-23) por ser H_i y H_f mayores que el radio del tanque, el volumen de diesel se obtiene de restar el volumen del tanque sin diesel al volumen total.

Altura inicial del segmento donde no hay diesel

$$91.5 - 68.4 = 23.1 \text{ cm.}$$

Altura final del segmento donde no hay diesel

$$91.5 - 67.7 = 23.8 \text{ cm}$$

Por reglas de la tabla 1-5b Perry (1973:1-23), se divide la altura del segmento entre el diámetro del tanque,

$$H/D = 23.8/91.5 = \emptyset.26\emptyset$$

de tabla 1.5b se obtiene $A = \emptyset.16226$, para calcular el área del segmento vacío se multiplica

$$A \times D^2 = \emptyset.16226 \times (\emptyset.915)^2 = \emptyset.136 \text{ m}^2$$

El volumen final del segmento vacío del tanque = $L \times A$ del segmento = $1.88 \times \emptyset.136 = \emptyset.256 \text{ m}^3$

Se hacen los anteriores cálculos para 23.1 cm, llegando a obtener el volumen inicial del segmento vacío del tanque igual a, $V = \emptyset.245 \text{ cm}^3$

$$\text{Diesel inicial en el tanque} = 1.236 - \emptyset.245 = \emptyset.991 \text{ m}^3$$

$$\text{Diesel final en el tanque} = 1.236 - \emptyset.256 = \emptyset.98\emptyset \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen diesel consumido} = \emptyset.991 - \emptyset.98\emptyset = \emptyset.011 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{masa del diesel consumido} &= \emptyset.011 \text{ m}^3 \times 837 \text{ kg/m}^3 \times 2.2 \text{ lb/kg} \\ &= 2\emptyset.26 \text{ lb.} \end{aligned}$$

D.3) Eficiencia térmica.

Se obtiene de la ecuación
$$\frac{m_{\text{vapor}} (H_{\text{vapor}} - H_{\text{agua}})}{m_{\text{diesel}} (V. \text{ calor. die)}} \times 100$$

$$m_{\text{vapor}} = 242.7 \text{ lb}$$

$$m_{\text{diesel}} = 20.26 \text{ lb}$$

H vapor a 100 PSI = 1187.1 BTU/lb, tabla 11 timmerhaus (1980, 949)

H agua 77°F = 45.03 BTU/lb, tabla 11 Timmerhaus (1980,949)

valor calorífico del diesel = 135.000 BTU/gal x 264.17 gal/m³

$$\times 1 \text{ m}^3 / 837 \text{ Kg} \times 1 \text{ Kg} / 2.2 \text{ lb} = 19.367.3 \text{ BTU/lb}$$

$$= \frac{242.71 \text{ lb} \times (1187.1 - 45.03) \text{ BTU/lb}}{20.26 \text{ lb} \times 19.367.3 \text{ BTU/lb}} \times 100 = 70.64\%$$

D.4) Rendimiento de la caldera.

$$R = \frac{m_{\text{vapor}}}{m_{\text{diesel}}} = \frac{242.7 \text{ lb}}{20.26 \text{ lb}} = 11.98 \text{ lb vapor/ lb diesel}$$

D.5) Moles en O₂ que entran.

Utilizando el instrumento de muestreo Bacharach se obtienen %O₂ = 5.0, %CO₂ = 12.0, con una base = 100 lb mol gases de combustión.

$$\text{Moles N}_2 = 100 \text{ moles gases comb.} - \text{moles O}_2 - \text{moles CO}_2$$

$$= 100 - 5.0 - 12.0 = 83 \text{ moles}$$

La composición del aire es 79% mol N₂ y 21% mol O₂ por lo que,

$$\text{moles O}_2 \text{ entran} = 83 \text{ moles N}_2 \times 21 \text{ mol O}_2 / 79 \text{ mol N}_2$$

$$= 22.06 \text{ moles}$$

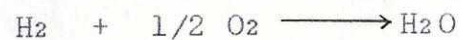
D.6) Moles de O₂ que forman H₂O.

O₂ que reacciona = O₂ entra - O₂ sale

$$\begin{aligned} \text{moles O}_2 \text{ forman CO}_2 &= 12 \text{ moles CO}_2 \times 1 \text{ mol O}_2 / 1 \text{ mol CO}_2 \\ &= 12 \text{ moles} \end{aligned}$$

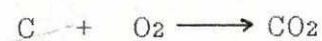
$$\begin{aligned} \text{moles O}_2 \text{ forman H}_2\text{O} &= 22.06 \text{ moles O}_2 \text{ entran} - 5 \text{ moles O}_2 \text{ exceso} \\ - 12 \text{ moles O}_2 \text{ forman CO}_2 &= 5.06 \text{ moles} \end{aligned}$$

D.7) Moles H₂O que se forman.



$$\begin{aligned} \text{moles de agua formados} &= 5.06 \text{ moles O}_2 \text{ forman agua} \times 1 \text{ mol H}_2\text{O} / \\ 1/2 \text{ mol O}_2 &= 10.12 \text{ moles} \end{aligned}$$

D.8) Carbonato (C) en gases de combustión.



$$\begin{aligned} \text{moles carbono gases comb.} &= 12 \text{ moles CO}_2 \times 1 \text{ mol C} / 1 \text{ mol CO}_2 \\ &= 12 \text{ moles} \end{aligned}$$

D.9) H₂ suplido por el diesel.

$$\begin{aligned} \text{moles H}_2 &= 10.12 \text{ moles H}_2\text{O} \times 1 \text{ mol H}_2 / 1 \text{ mol H}_2\text{O} \\ &= 10.12 \text{ moles} \end{aligned}$$

D.10) Composición porcentual del diesel.

$$\begin{aligned} \text{Con base} &= 100 \text{ lb mol gases de combustión, entonces} \\ \text{moles de O}_2 &= 5.0, \text{ moles de CO}_2 = 12.0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{masa de C diesel} &= 12 \text{ moles C} \times 12.01 \text{ lb C} / 1 \text{ mol C} \\ &= 144.12 \text{ lb C} \end{aligned}$$

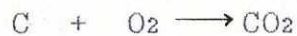
$$\begin{aligned} \text{masa de H}_2 \text{ diesel} &= 10.12 \text{ moles H}_2 \times 2.02 \text{ lb H}_2 / 1 \text{ mol H}_2 \\ &= 20.24 \text{ lb H}_2 \end{aligned}$$

$$\text{masa consumida de diesel} = 144.12 + 20.24 = 164.36 \text{ lb}$$

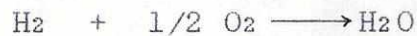
$$\%C \text{ diesel} = 144.12 / 164.36 \times 100 = 87.7\%$$

$$\%H_2 \text{ diesel} = 20.24 / 164.36 \times 100 = 12.3\%$$

D.11) Moles de aire teórico.



$$\begin{aligned} 1 \text{ lb C} \times 1 \text{ mol C} / 12.01 \text{ lb C} \times 1 \text{ mol O}_2 / 1 \text{ mol C} \times 32 \text{ lb O}_2 / \\ 1 \text{ mol O}_2 = 2.66 \text{ lb O}_2 \text{ O}_2 / \text{ lb C} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} 1 \text{ lb C} \times 1 \text{ mol H}_2 / 2.02 \text{ lb H}_2 \times 1/2 \text{ mol O}_2 / 1 \text{ mol H}_2 \times 32 \text{ lb} \\ O_2 / 1 \text{ mol O}_2 = 7.92 \text{ lb O}_2 / \text{ lb H}_2 \end{aligned}$$

$$\text{base} = 100 \text{ lb de diesel}$$

$$\begin{aligned} \text{lb O}_2 \text{ teórico} &= [2.66 \times 87.7 / 100 + 7.92 \times 12.3 / 100] \times 20.26 \text{ lb} \\ \text{de diesel} &= 66.86 \text{ lb O}_2 \text{ teórico} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{moles aire teórico} &= 66.86 \text{ lb O}_2 \text{ teórico} \times 1 \text{ mol O}_2 / 32 \text{ lb O}_2 \\ &\times 100 \text{ moles aire} / 21 \text{ moles O}_2 = 9.95 \text{ moles} \end{aligned}$$

D.12) Moles de aire alimentado

La cantidad real de O₂ alimentado se obtiene multiplicando

$$O_2 \text{ alim.} = O_2 \text{ alim.} / 100 \text{ mol gases comb.} \times P.M. O_2 \times \text{diesel con}$$

sumido /100 lb gases comb. x consumo real diesel en un ciclo de operación.

$$\begin{aligned} \text{O}_2 \text{ alim.} &= 22.06 \text{ moles O}_2 / 100 \text{ mole gases comb.} \times 32 \text{ lb O}_2 / \text{mol} \\ &\text{O}_2 \times 100 \text{ moles gases comb.} / 164.36 \text{ diesel} \times 20.26 \text{ lb. diesel} \\ &= 87.02 \text{ lb O}_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{moles aire alimentado} &= 87.02 \text{ lb O}_2 \times 1 \text{ mol O}_2 / 32 \text{ lb O}_2 \times 100 \\ \text{moles aire} / 21 \text{ moles O}_2 &= 12.95 \text{ moles aire} \end{aligned}$$

D.13) Porcentaje aire en exceso

Se obtiene utilizando la ecuación,

$$\frac{\text{moles aire alimentado} - \text{moles aire teórico}}{\text{moles aire teórico}} \times 100$$

$$\frac{12.95 - 9.95}{9.95} \times 100 = 30.15\%$$

Los datos originales de las tres aberturas de "damper" están en la table D.1. Los resultados principales obtenidos de los cálculos hechos para obtener la eficiencia térmica, el rendimiento de la caldera y el porcentaje de aire en exceso para las tres aberturas de "damper" están tabulados en las tablas D.2 y D.3, respectivamente.

Para observar el comportamiento de la eficiencia de la caldera, el rendimiento de la caldera y el % de exceso de aire respecto de la abertura del "damper" consultar las gráficas D.1, D.2 y D.3 respectivamente.

TABLA D. 1

	100%	50%	25%
Temp agua (°C)	25	25	25
% O ₂	5.0	2.0	0.5
%CO ₂	12.0	13.5	8.0
Vi (gal)	3052.5	3084.0	3105.3
Vf (gal)	3081.5	3105.3	3115.5
Hi (cm)	68.4	67.7	67.2
Hf (cm)	67.7	67.2	67.0
T ciclo (seg)	2395.0	1194.5	1246.0
t comb. (seg)	1356.0	884.0	1093.0

TABLA D. 2

	100%	50%	25%
m agua (vap) (lb)	242.7	177.23	84.87
m diesel (lb)	20.26	13.81	6.44
H vapor (BTU/lb)	1187.1	1187.1	1187.1
H agua (BTU/lb)	45.3	45.3	45.3
V. cal. diesel (BTU/lb)	19367.3	19367.3	19367.3
Eficiencia térmica	70.64	75.68	77.71
Rendimiento	11.98	12.83	13.18

TABLA D. 3

	100%	50%	25%
Lb O ₂ teórico	66.86	47.47	30.66
moles aire teórico	9.95	7.06	4.56
Lb O ₂ alim.	87.02	52.17	31.33
moles aire alim.	12.95	7.76	4.66
% exceso aire	30.15	9.92	2.19

EFICIENCIA TERMICA DE LA CALDERA SEGUN ABERTURA DE DAMPER

RENDIMIENTO DE LA CALDERA SEGUN ABERTURA DE DAMPER

ABERTURA DE DAMPER
75
50
25

ABERTURA DE DAMPER
75
50
25

70 71 72 73 74 75 76 77 78 79

% EFICIENCIA TERMICA

11 12 13

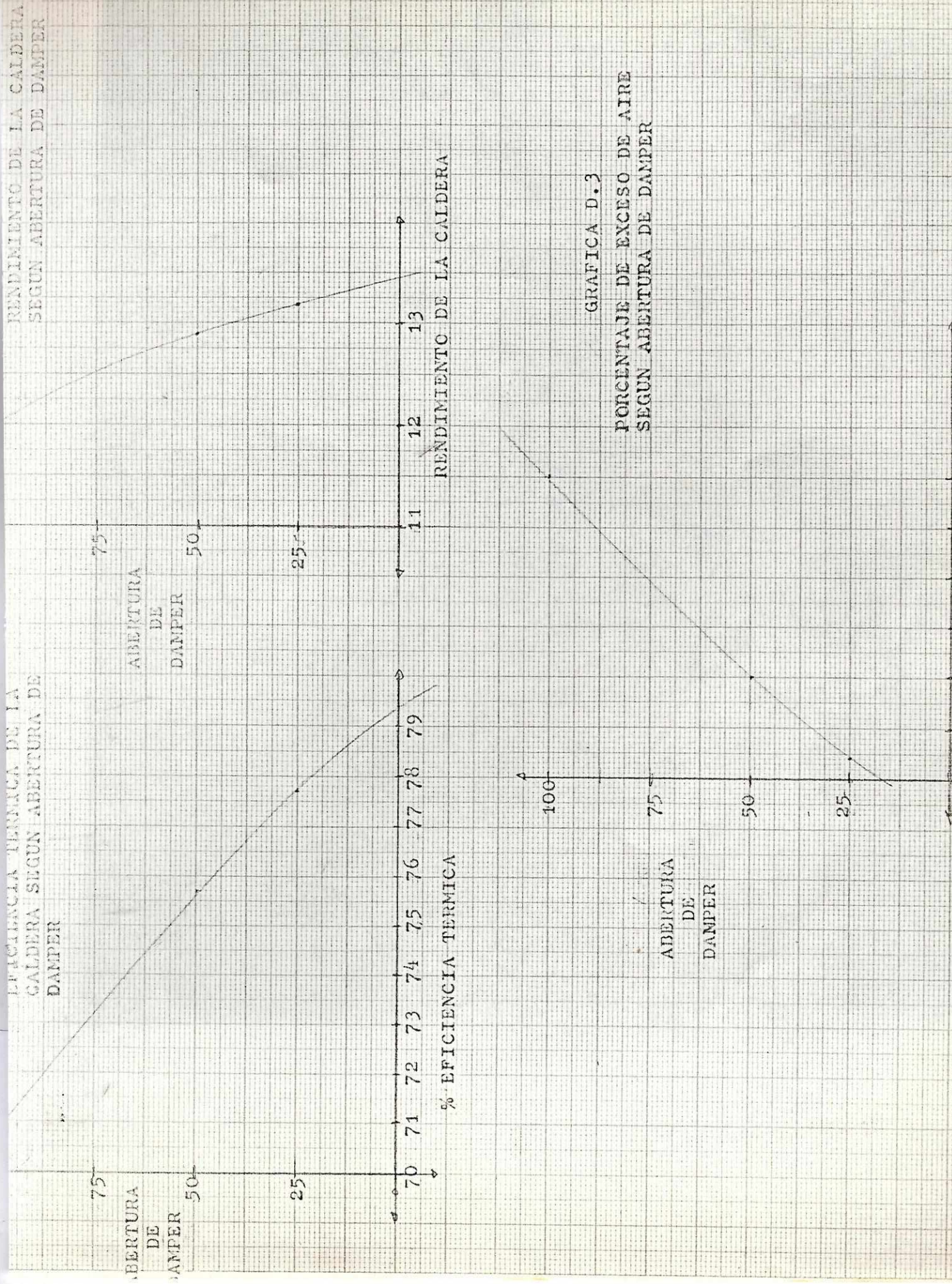
RENDIMIENTO DE LA CALDERA

100

ABERTURA DE DAMPER
75
50
25

PORCENTAJE DE EXCESO DE AIRE SEGUN ABERTURA DE DAMPER

GRAFICA D.3



ANEXO E

CODIGO DE COLORES NORMA ICAITI # 19017

SEGUN CATALOGO DE NORMAS (1982:12)

verde	agua líquida
gris plata	vapor
amarillo ocre	gases de cualquier clase excepto aire
café	aceites minerales y vegetales, líquidos combustibles
violeta	ácidos y álcalis
celeste	aire
negro	aguas negras u otros líquidos de purga
naranja	servicios eléctricos

ANEXO F

DISEÑO DE LAS LINEAS DE SERVICIO: Diámetro y materialesLínea de agua

En la tubería instalada de agua se calcularon los siguientes caudales: $\emptyset.27$, $\emptyset.44$, $\emptyset.61$, $\emptyset.75$, $\emptyset.87$ m³/Hr (Gráfica M.1), como promedio aritmético se tiene $Q = \emptyset.59$ m³/Hr.

Densidad del agua = 62.4 Lb/pie³.

Flujo másico es $\dot{m} = Q \times \rho$

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \emptyset.59 \text{ m}^3/\text{Hr} \times 35.29 \text{ pie}^3/\text{m}^3 \times 62.4 \text{ lb}/\text{pie}^3 \\ &= 1.299.2 \text{ lb}/\text{Hr} \end{aligned}$$

Si se considera un comportamiento semejante entre la tubería de acero standard y la de hierro galvanizado, se tiene del apéndice 6 de Mc Cabe (1976:992) que para el flujo másico de agua de 1.299.2 lb/hr, se requiere tubería de 1" de diámetro nominal, que es el diámetro de la tubería instalada.

Línea de vapor

Para la tubería de vapor, se llevó la caldera varias veces a una presión de operación de 75 PSI, utilizando tiempos de 2.395, 1.194 y 1.246 segundos, como promedio se tiene

$$t = 1.612 \text{ segundos.}$$

El volumen específico del vapor a 75 PSI = 5.626 pie³/lb, según apéndice 8 Mc Cabe (1976:994); la velocidad es

$$U = \frac{75 \text{ lb}/\text{pulg}^2 \times 144 \text{ pulg}^2/\text{pie}^2 \times 5.626 \text{ pie}^3/\text{lb}}{1.612 \text{ seg}} = 37.7 \text{ pie}/\text{seg}$$

Según tabla 8-1 Mc Cabe (1976:174), la velocidad de 37.7 pie/seg en dicha tubería es representativa de las velocidades en las líneas de vapor, por lo tanto la tubería instalada de 3/4" de diámetro nominal es adecuada para la línea de vapor.

Línea de aire

La tubería de aire no se ha utilizado debido a que el compresor Colt Industries de 20 HP no ha sido instalada todavía; provisionalmente funciona un compresor Ingersoll-Rand de 3/4 HP, para el sistema de filtración, por lo que con los datos de ese sistema se justificará la instalación de tubería de 1/2" para la línea de aire.

El rango de operación del filtro es de 40-200 PSI, se utilizará para el cálculo 100 PSI por ser la máxima presión a la que se ha operado el compresor de 3/4 H.

Densidad del aire a 0°C y 1 atm= 0.0808 lb/pie³, tabla 3-31

Perry (1973:3-72).

$$\rho = 0.0808 \text{ lb/pie}^3 \times \frac{273\text{k}}{295\text{k}} \times \frac{760\text{mmHg}}{640\text{mmHg}} = 0.0888 \text{ lb/pie}^3$$

Para alcanzar los 100 PSI el compresor de 3/4 HP funciona durante 30 minutos

$$U = \frac{100 \text{ lb/pulg}^2}{0.0888 \text{ lb/pie}^3} \times \frac{144 \text{ pulg}^2}{\text{pie}^2} / 1800 \text{ seg} = 90.1 \text{ pie/seg}$$

Según tabla 8-1 Mc Cabe (1976:174) la velocidad 90.1-pie/seg es representativa de las velocidades en la línea de aire, por lo que la tubería de 1/2" diámetro nominal es adecuada para dicha línea.

ANEXO G

SELECCION DEL AISLANTE TERMICO, CALCULO DEL ESPESOR Y AHORRO
EN COMBUSTIBLES

En Perry (1973:11-53) según tabla 11-13 al asumir igualdad con el coeficiente de conductividad térmica entre el silicado de calcio y la fibra de vidrio, se obtiene que para una tubería de 3/4" de diámetro nominal y 300-399°F a 247.3 PSI, Timmerhaus (1980:949), que es la presión máxima soportada por la tubería de hierro galvanizado, se tiene un espesor económicamente recomendado para el aislante de 1", que fue el instalado en el Laboratorio en toda la tubería que transporta vapor.

Con la caldera del Laboratorio que trabaja con 80% de eficiencia térmica (Anexo D) y utilizando combustible #2 (diesel) se tiene del Energigrama #1 del ICAITI un costo de \$8.25-/1000 lbs de vapor (Gráfica G.1).

La entalpía a 75 PSI, Timmerhaus (1980:949) es igual a 1.182.5 BTU/lb,

$$\frac{\$8.25}{1000 \text{ lbs}} \times \frac{1 \text{ lb}}{11.825 \text{ BTU}} \times 1 \times 10^6 \text{ BTU/MBTU} = \$6.98/\text{MBTU}$$

A 75 PSI, una tubería de 3/4" de diámetro nominal, 1.152 horas de trabajo/año (4hr/día, 6 días/semana) y utilizando el Energigrama #4 del ICAITI se tiene 32.9 MBTU/año de pérdida de calor x 100 pies de tubería descubierta, (Gráfica G.2).

$$250 \text{ MBTU/año} \times \frac{1.152 \text{ Hrs/año}}{8.760 \text{ Hrs/año}} = 32.9 \text{ MBTU/año. } 100 \text{ pies tubería}$$

El aislamiento puede reducir hasta un 95% las pérdidas de energía, por lo que en 10 años de trabajo el ahorro es entonces de,

$$\frac{106 \text{ ft}}{100 \text{ ft}} \times 329 \text{ MBTU/año} \times \$6.98/\text{MBTU} \times 0.95 \text{ ahorro} \times 10 \text{ años}$$

$$= \$2,312.5 \text{ de ahorro}$$

El costo en el momento de compra de la fibra de vidrio de 1" de espesor en forma de tubo es de \$7.95 x 3 pies de longitud, como se tienen 106 pies de línea de vapor, el costo total es de \$281.

$$106 \text{ pies} \times \$7.95 / 3 \text{ pies} = \$281$$

Por lo tanto el ahorro neto (ahorro - costo) es igual a

$$2.312.5 - 281 = \$ 2.031.50$$

quedando justificada la compra e instalación de la fibra de vidrio de 1" de espesor.

VAPOUR

Gráfica de costo de vapor.

Los costos de combustible y la eficiencia de la caldera son factores que intervienen en el costo del vapor que suministra al equipo de una planta. La gráfica de costos de vapor permite determinar el costo del vapor de la planta al utilizar diferentes combustibles. Asimismo se puede calcular también las mejoras en la eficiencia.

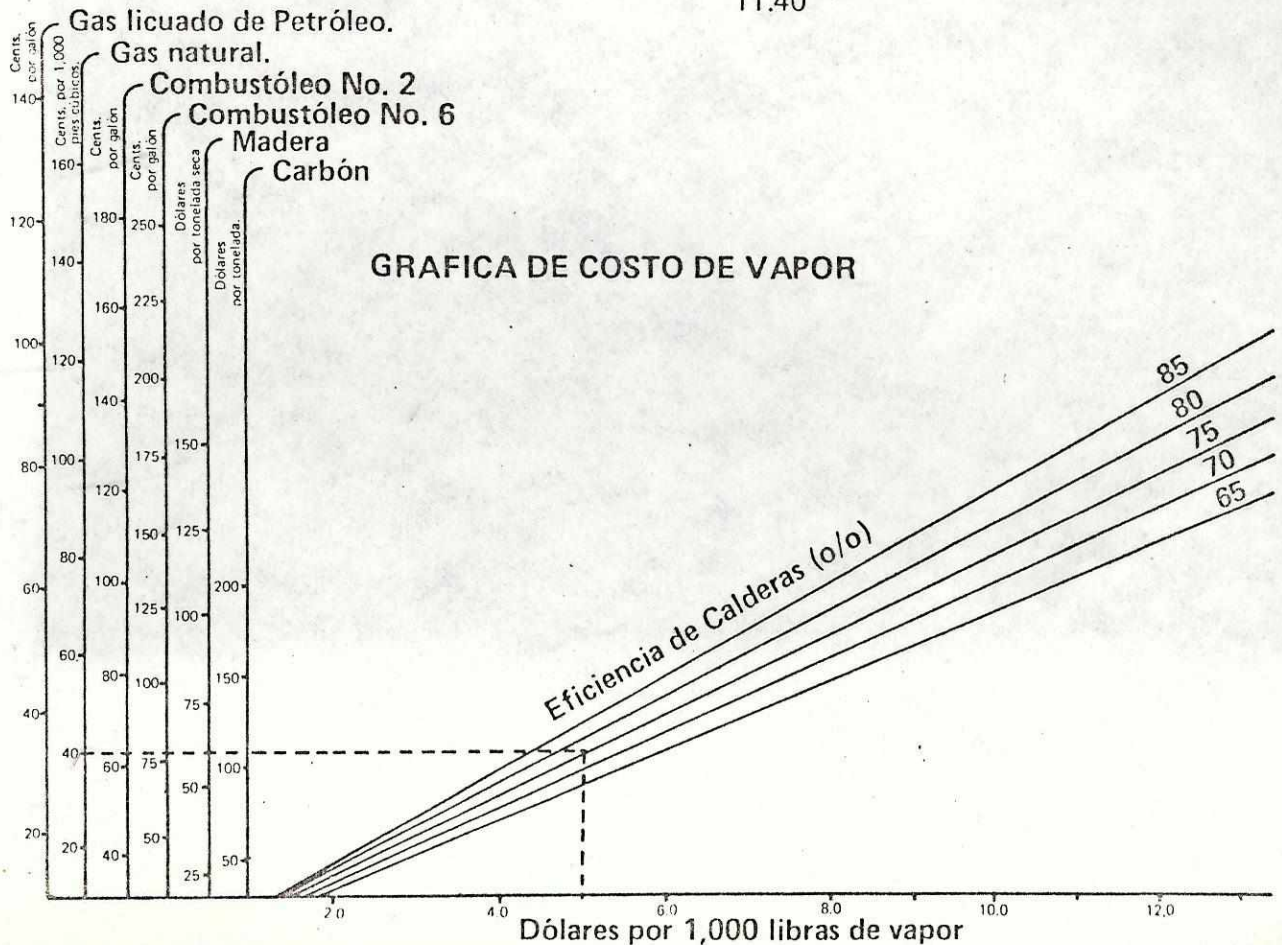
EJEMPLOS:

¿Cuál es el costo del vapor al quemar gas natural a 40 centavos por 100 pies cúbicos con un 75 por ciento de eficiencia? Empleando la gráfica de costo de vapor se tiene: US\$ 5.20 por 1,000 libras.

¿Cuál es el costo del vapor cuando se quema gas licuado de petróleo (LPG) a 75 centavos por galón con una eficiencia del 75 por ciento? Empleando la gráfica de costo de vapor: US\$ 11.40 por 1,000 libras.

¿Cuál es el ahorro de costo de la producción de vapor cuando se quema gas licuado de petróleo (LPG) a 75 centavos por galón, si se aumenta la eficiencia del 75 al 80 por ciento? Empleando la gráfica de costo de vapor se tiene:

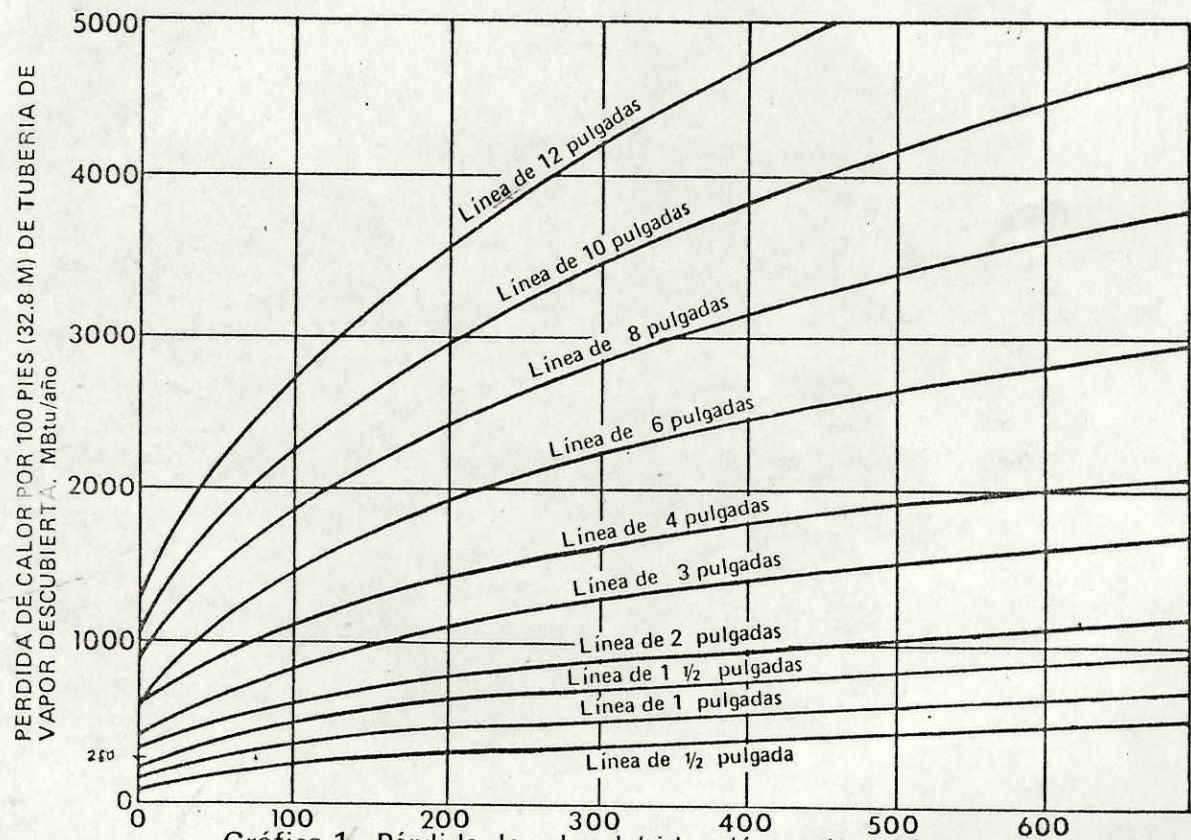
75 por ciento de eficiencia	=	US\$	11.40	por 1,000 libras
80 por ciento de eficiencia	=		10.50	por 1,000 libras
Ahorro de costos	=		0.90	por 1,000 libras
Reducción de los gastos de combustibles			0.90	× 100 por ciento = 7.9 por ciento
			11.40	



FUENTE: GA TECH EES PEEI

VAPOR Aislamiento de las tuberías de vapor descubiertas.

Las líneas de vapor descubiertas son una fuente constante de desperdicio de energía. Un aislamiento apropiado puede reducir, las pérdidas de energía hasta un 95 por ciento y contribuir a asegurar la debida presión de vapor en el equipo de la planta. La Gráfica 1 muestra la pérdida de calor aproximada que se debe a las tuberías descubiertas y a las presiones.



Gráfica 1 - Pérdida de calor debida a líneas descubiertas.
(Con base en la referencia)
(Con base en 8 760 horas de funcionamiento por año.)

EJEMPLO:

La inspección del sistema de vapor de una planta reveló la existencia de 120 pies de tubos de 1/2 pulgada descubiertos y 70 pies de tubos de 1 pulgada, los cuales se desempeñaban a una presión de 150 psig, y también se encontró 230 pies de una línea de 2 pulgadas descubierta, que funcionaba a 30 psig. El valor del vapor era US\$ 6.00 por millón BTU. La cantidad de pérdida de calor por año se determinó en base a la siguiente gráfica.

La pérdida de calor determinada según la Gráfica 1 es:

- Línea de 1/2 pulgada = (120 pies/100 pies) (300 millones BTU/año) = 360 millones BTU por año
 - Línea de 1 pulgada = (70 pies/100 pies) (430 millones BTU/año) = 301 millones BTU por año
 - Línea de 2 pulgadas = (230 pies/100 pies) (370 millones BTU/año) = 851 millones BTU por año
- Pérdida total de calor = 1 512 millones BTU por año

El ahorro de costo debido a un aislamiento 95 por ciento eficiente es:
 $0.95 \times \$ 6.00 \times 1 512 = \underline{\underline{US\$ 8,618}}$ al año.

FUENTE: NBS Handbook No. 115 GATECH PEIR

ANEXO H

TRAMPA DE VAPOR

Presión del vapor: 75 PSI $T_2=310^\circ\text{F}$, Timmerhaus(1980,949)

Calor de vaporización a 75 PSI = 902.6 BTU/lb

$T_1 = 73^\circ\text{F}$ (temperatura ambiente)

Presión de descarga 1 atm (14.7 PSI)

Calor específico del hierro fundido= 0.122 , Perry(1973:23-38)

Asumiendo semejanza entre el acero cédula 40 y el hierro galvanizado, se tiene el peso de la tubería igual a $w=1.68 \text{ lb/pie}$

Area de superficie del tubo $A=0.344 \text{ pie}^2/\text{pie}$, con 106 pies de tubería de vapor.

Se asume 95% de eficiencia del aislante, según Energigrama #4 de ICAITI, $E = 1 = 0.95 = 0.05$

Se asume 33 BTU/pie² de pérdida (k)

Se asume 1 min de los intervalos de trabajo de la trampa.

$C_1 = \frac{W(T_1 - T_2)}{L} (0.122)$ Carga de condensados por calentamiento

$C_2 = \frac{A K (T_1 - T_2) E}{L}$ Carga de condensados por radiación

$C_1 = \frac{1.68 \text{ lb/pie} \times (106 \text{ pie}) \times (310-73)^\circ\text{F} \times 0.122 \text{ BTU}/^\circ\text{F lb}}{902.6 \text{ BTU/lb}}$

$= 5.7 \text{ lb} \times \frac{1}{1 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ min}}{\text{hr}}$

$C_1 = 342.3 \text{ lb/hr.}$

$$C_2 = \frac{0.344 \times 106 \text{ pie} \times (310-73)^\circ\text{F} \times 0.05 \times 33 \text{ BTU/pie}^2}{902.6 \text{ BTU/lb}} = 15.8 \text{ lb/hr}$$

Carga total = carga por calentamiento + 0.25 carga por radiación.

$$\text{Carga total} = 342.3 + 0.25 (15.8)$$

$$C = 346.2 \text{ lb/hr.}$$

Si la trampa está colocada al final de la tubería de vapor se aplica un factor de seguridad de 3 al valor de la carga de condensados que debe de operar la trampa de vapor escogida.

$$C = 346.2 \times 3 = 1.038.7 \text{ lb/hr.}$$

Según la Gráfica H.1, la trampa indicada es la #212 con orificio de descarga de 5/32".

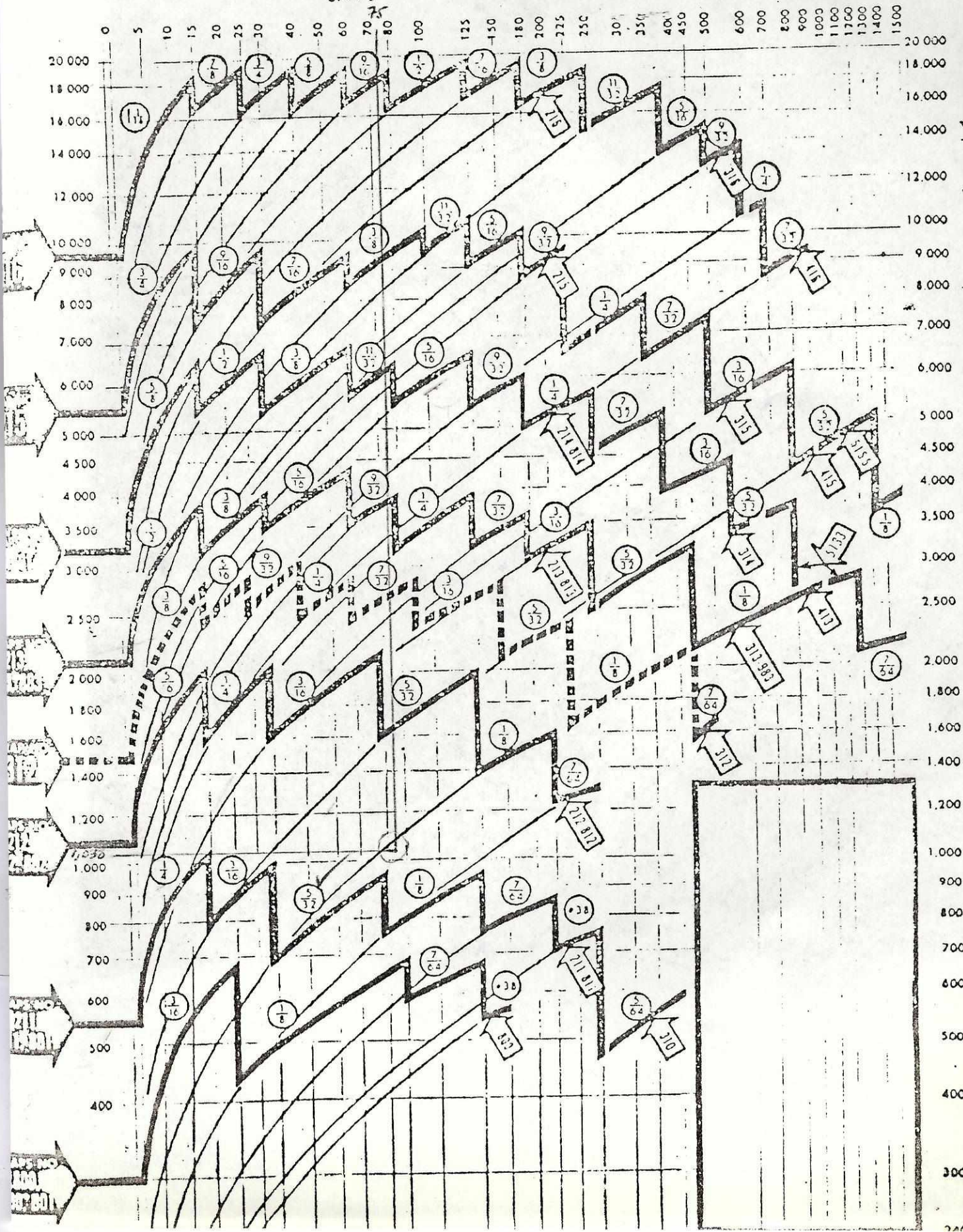
Trampas con diámetro de entrada/salida de 5/32" no habían en el mercado local por lo que se instaló una con diámetro de 1/2".

200 AND 800
SERIES

300
SERIES

400
SERIES

500
SERIES



ANEXO I

TORRE DE DESTILACION

Para un experimento específico de destilación de una solución de etanol-agua se mostrarán los cálculos para el plato #4; para observar los resultados de los cálculos para los diez platos y el calderín de la torre de destilación, consultar las tablas I.1, I.2 y las Gráficas I.1, I.2 y I.3.

A partir del porcentaje en volumen de etanol en la solución etanol-agua obtenida en las pruebas de la torre, se obtiene la gravedad específica en la tabla 3-114 Perry (1973: 3-86),

$$65\% \text{ volumen} \longrightarrow \text{gravedad específica} = 0.90202$$

Con la densidad del agua a 15°C igual a 0.99913 g/ml de la tabla 3-28 Perry (1973:3-71), se obtiene la densidad de la solución etanol-agua,

$$\text{sol} = 0.99913 \text{ g/ml} \times 0.90202 = 0.90124 \text{ g/ml}$$

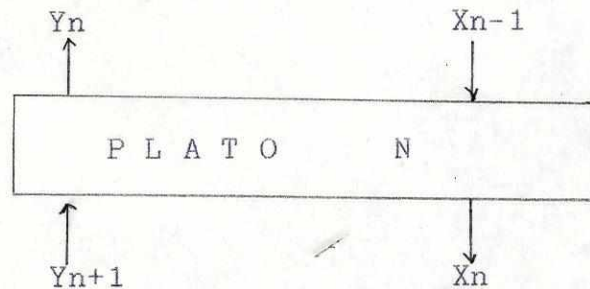
Con esta densidad se obtiene de la tabla 3-112 Perry (1973: 3-84) el porcentaje en peso de etanol en la solución,

$$0.90124 \text{ g/ml} \longrightarrow 57.37\% \text{ peso}$$

Con el % peso se calcula el % mol de etanol en la solución etanol-agua con la siguiente ecuación,

$$\% \text{ mol} + \frac{\% \text{ peso etanol} / \text{P.M. etanol}}{\frac{\% \text{ peso etanol}}{\text{P.M. etanol}} + \frac{\% \text{ peso agua}}{\text{P.M. agua}}}$$

$$\% \text{ mol} = \frac{57.37/46.08}{\frac{57.37}{46.08} + \frac{42.63}{18.02}} \times 100 = 34.48\%$$



La eficiencia de Murphree en cada plato n está dada por la ecuación,

$$\eta_M = \frac{X_{n-1} - X_n}{X_{n-1} - X_n^*}, \quad \text{Mc Cabe (1976:594)}$$

donde X_n^* es la concentración del líquido en equilibrio con el vapor saliendo del plato n hacia el plato de arriba y se obtiene de la curva de equilibrio etanol-agua (Gráfica I.1), cuyos datos están en la tabla 13-3 Perry (1963:13-5), la cual se utiliza de la siguiente forma: con el dato de X_{n-1} se traza una línea recta que interseca la línea de operación, que en este caso es de 45° porque se tiene reflujo total, luego se traza una línea horizontal hasta que intersecte la línea de equilibrio. De este punto se traza una línea recta hasta intersectar con el eje de las x , en este punto se lee el valor de X_n^* (Gráfica I.1).

Se calcula la eficiencia para el Plato # 4,

$$\eta_M = \frac{0.5226 - 0.3448}{0.5226 - 0.1825} \times 100 = 52.28\%$$

Las eficiencias de Murphree de los diez platos están tabuladas junto con los principales parámetros para su cálculo en la tabla I.2. En la tabla I.1 aparecen los datos originales obtenidos en las pruebas de la torre, incluyendo las temperaturas de cada plato. En las Gráficas I.2, I.3 se grafican las eficiencias de Murphree y las temperaturas vs. los platos, respectivamente.

TABLA I. 1

Plato	% vol etanol-agua	Temperatura °C
reflujo	92	71
1	87	83
2	83	96
3	80	97
4	65	96
5	45	97
6	35	99
7	20	100
8	15	101
9	10	97
10	5	97
calderín	5	90

TABLA I. 2

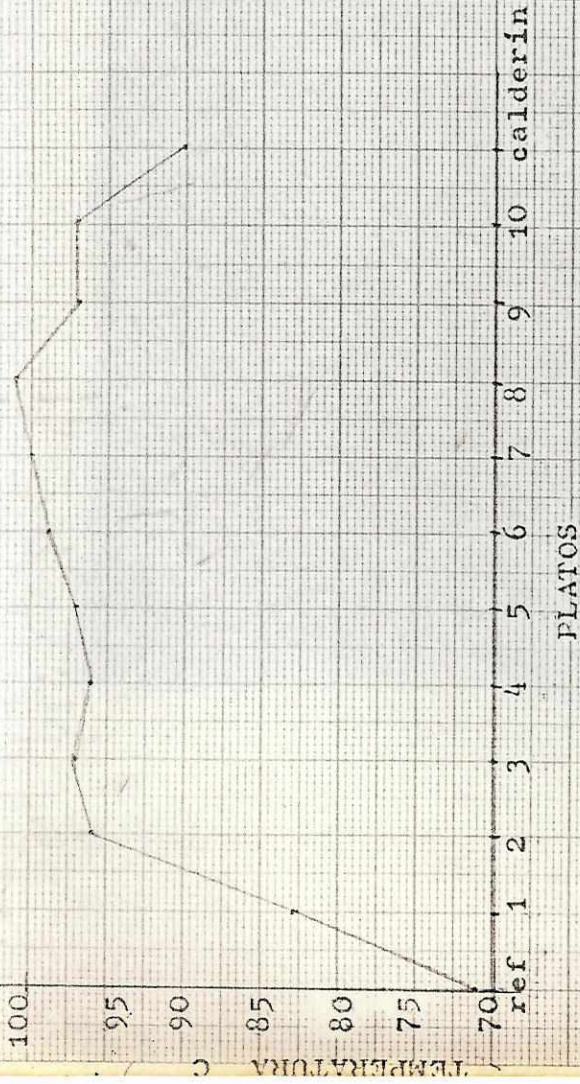
Plato	Grav. esp.	%peso etOH	%mol(X)etOH	Xn*	
ref.	0.82705	88.46	0.7499	--	--
1	0.84336	82.06	0.6414	0.7000	217.43
2	0.85531	77.20	0.5697	0.4700	41.83
3	0.86380	73.68	0.5226	0.2900	16.84
4	0.90202	57.37	0.3448	0.1825	52.28
5	0.94351	38.02	0.1935	0.0550	52.21
6	0.95908	29.12	0.1384	0.0225	32.33
7	0.97596	16.34	0.0710	0.0150	54.62
8	0.98104	12.17	0.0514	0.0075	30.87
9	0.98661	8.42	0.0347	0.0050	25.37
10	0.99282	3.99	0.0160	0.0025	58.07
cal.	0.99282	3.99	0.0160	0.0000	--

CURVA DE EQUILIBRIO ETANOL - AGUA



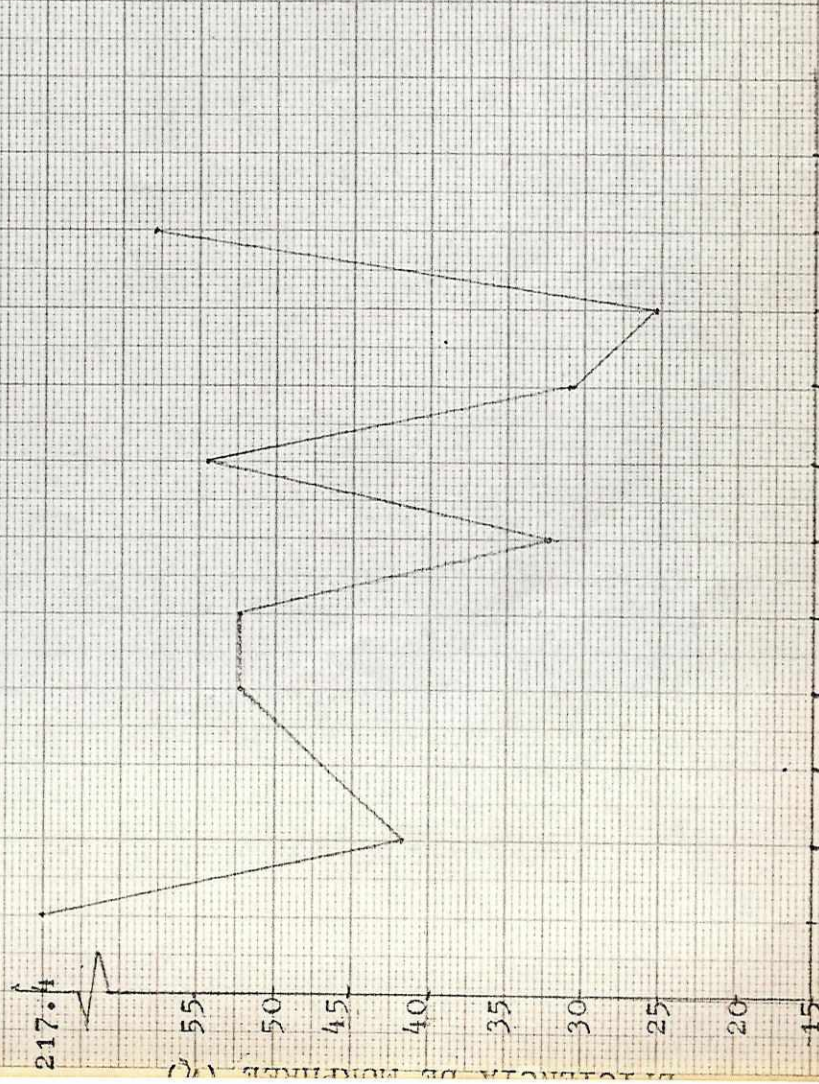
GRAFICA 1.2

VARIACION DE LA TEMPERATURA SEGUN EL NUMERO DE PLATO



GRAFICA 1.3

VARIACION DE LA EFICIENCIA DE PURIFICACION SEGUN EL NUMERO DE PLATO



ANEXO J

CALCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR DE LA BOMBA DEL BANCO DE
CAIDAS DE PRESION EN TUBERIA Y ACCESORIOS

La máxima caída de presión obtenida en el banco fue de
600 mmhg = 10.61 PSI (~110 H/min)

$h_f = 0$ (por considerar en la eficiencia las pérdidas en
la bomba)

$Z_b = Z_a = 1$ m (la salida y entrada de la bomba)

$\alpha_a = \alpha_b = 1$

$V_a = 0$ al compararla con la V_b

agua = 62.4 lb/pie³

Diámetro de la tubería = 1.2"

bomba = 0.70, según Fluid Movers (1979:124).

Aplicando la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P_a}{\rho} + \frac{g}{gc} Z_a + \frac{\alpha_a V_a^2}{2gc} + \eta W_p = \frac{P_b}{\rho} + \frac{g}{gc} Z_b + \frac{\alpha_b V_b^2}{2gc} + h_f$$

$$\eta W_p = \frac{P_b - P_a}{\rho} + \frac{g}{gc} (Z_b - Z_a) + \frac{V_b^2}{2gc}$$

$$V_b = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot A} = \frac{4.1 \text{ lb/seg}}{62.4 \text{ lb/pie}^3 (\pi/4 (0.5/12)^2 \text{ pie}^2)} = 48.19 \text{ pie/seg}$$

$$\frac{V_b^2}{2gc} = \frac{(48.19)^2 \text{ Pie}^2/\text{seg}^2}{2 \times 32.2 \text{ lb.pie/lbf. seg}^2} = 32.06 \frac{\text{lb f. pie}}{\text{lb}}$$

$$\frac{P_b - P_a}{\rho} = \frac{10.61 \text{ lbf/pulg}^2 \times 144 \text{ pulg}^2/\text{pie}^2}{62.4 \text{ lb/pie}^3} = 24.49 \frac{\text{lbf} \cdot \text{pie}}{\text{lb}}$$

$$\frac{g}{g_c} Z_b - Z_a = \frac{\text{lbf}}{\text{lb}} (3.28 \text{ pie}) = 3.28 \frac{\text{lbf} \cdot \text{pie}}{\text{lb}}$$

$$\emptyset.70 W_p = (24.49 + 3.28 + 36.06) \cdot \frac{\text{lbf} \cdot \text{pie}}{\text{lb}}$$

$$W_p = 91.19 \frac{\text{lbf} \cdot \text{pie}}{\text{lb}}$$

$$hp = \frac{\dot{m} \times W_p}{550} = \frac{4.1 \text{ lb/seg} \times 9.19 (\text{lbf} \cdot \text{pie}/\text{lb})}{550 \text{ } \cancel{\text{lb}} \cdot \frac{\text{pie}}{\text{seg}}} = 0.68 \text{ hp}$$

Hp a seleccionar = 1.25 Hp calculado

$$= 1.25 (0.68)$$

$$= 0.85 \text{ Hp}$$

Se debió de instalar una bomba centrífuga con motor de 1Hp pero no habían disponibles en el mercado local.

Hp de la bomba adquirida = 1.5

ANEXO K

CALCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR DE LA BOMBA DEL
SISTEMA DE FILTRACION

Máxima caída de presión en el filtro = 200 PSI

$h_f = 0$ (por considerar en la eficiencia las pérdidas en la bomba)

$Z_a = Z_b$ (entrada y salida de la bomba están a la misma altura)

$\alpha_a = \alpha_b = 1$

$V_a = 2$ pies/seg & $V_b = 7$ pies/seg, según tabla 8-1 Mc Cabe (1976: 174)

agua = 62.4 lb/pie³

Diámetro de la tubería = 1"

bomba = 70%, según Fluid Movers (1979, 124)

Ecuación de Bernoulli: (modificada)

$$\frac{P_a}{\rho} + \frac{g}{gc} Z_a + \frac{\alpha_a V_a^2}{2gc} + \eta W_p = \frac{P_b}{\rho} + \frac{g}{gc} Z_b + \frac{\alpha_b V_b^2}{2gc} + h_f$$

$$\eta W_p = \frac{P_b - P_a}{\rho} + \frac{V_b^2 - V_a^2}{2gc}$$

$$0.70 W_p = \frac{200 \text{ lbf/pulg}^2 \times 144 \text{ pulg}^2/\text{pie}^2}{62.4 \text{ lb/pie}^3} + \frac{(7^2 - 2^2) \text{ pie}^2/\text{seg}^2}{2 \times 32.2 \frac{\text{pie} \cdot \text{lb}}{\text{lbf} \cdot \text{seg}^2}}$$

$$W_p = \frac{461.5 + 0.7}{0.7}$$

$$W_p = \frac{660.3 \text{ lbf} \cdot \text{pie}}{\text{lb}}$$

$$\text{Flujo volumétrico } Q = Va \times \text{Area} = 2 \text{ pie /seg} \times \pi(0.5/12)^2 \text{ pie}^2$$

$$Q = 0.0109 \text{ pie}^3/\text{seg}$$

$$\text{Flujo másico } \dot{m} = Q \times \rho = 0.0109 \text{ pie}^3/\text{seg} \times 62.4 \text{ lb/pie}^3$$

$$\dot{m} = 7 \text{ lb/seg}$$

Potencia de la bomba

$$P = \frac{\dot{m} W_p}{550} = \frac{0.7 \text{ lb/seg} \times 660.3 \text{ lbf. pie/lb}}{550 \text{ lbf. pie/seg}} \text{ hp}$$

$$P = 0.84 \text{ hp}$$

$$\text{Hp a seleccionar} = 1.25 \text{ Hp calculado}$$

$$= 1.25 (0.84)$$

$$= 1 \text{ Hp}$$

Por lo que se instaló una bomba de desplazamiento positivo con motor de 1 Hp de potencia.

ANEXO L

EFICIENCIA DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR

La eficiencia del intercambiador de tubos concéntricos está dada por la ecuación,

$$\xi = \frac{\text{flujo real de calor transferido}}{\text{máximo flujo de calor que podría transferirse}}$$

$$\xi = \frac{q}{q_{\text{max}}} \quad \text{Manrique (1976:140)}$$

$$q = C_{\text{agua}} (T_{\text{agua sal}} - T_{\text{agua ent}}) = C_{\text{vap}} (t_{\text{vap ent}} - t_{\text{vap sal}})$$

$$q_{\text{max}} = C_{\text{min}} (T_{\text{vap ent}} - T_{\text{agua ent}})$$

$$\text{con } C_{\text{agua}} = m_{\text{agua}} C_{p \text{ agua}}, \quad C_{\text{vap}} = m_{\text{vap}} C_{p \text{ vap}}$$

entonces,

$$\xi = \frac{C_{\text{agua}} (T_{\text{agua sal}} - T_{\text{agua ent}})}{C_{\text{agua}} (T_{\text{vap ent}} - T_{\text{agua ent}})}$$

$$\xi = \frac{T_{\text{agua sal}} - T_{\text{agua ent}}}{T_{\text{vap ent}} - T_{\text{agua ent}}} \quad \text{Manrique (1976: 141)}$$

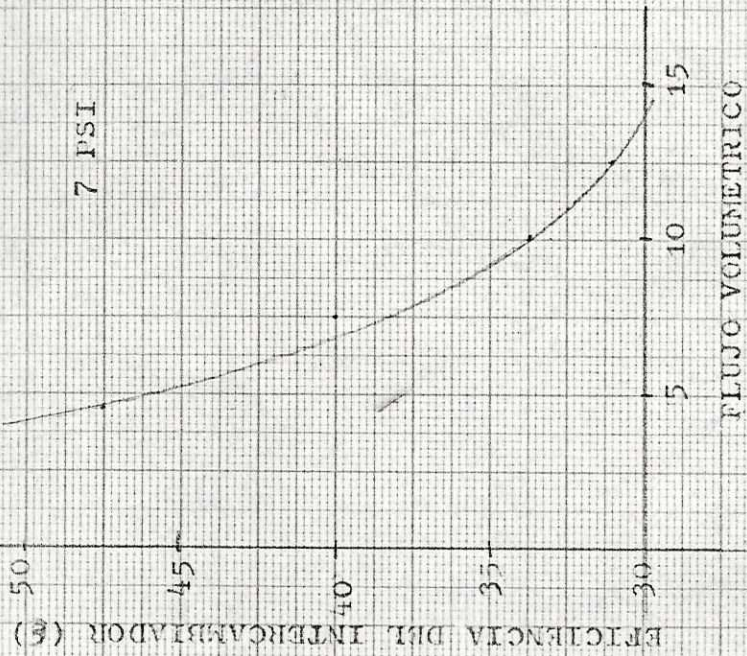
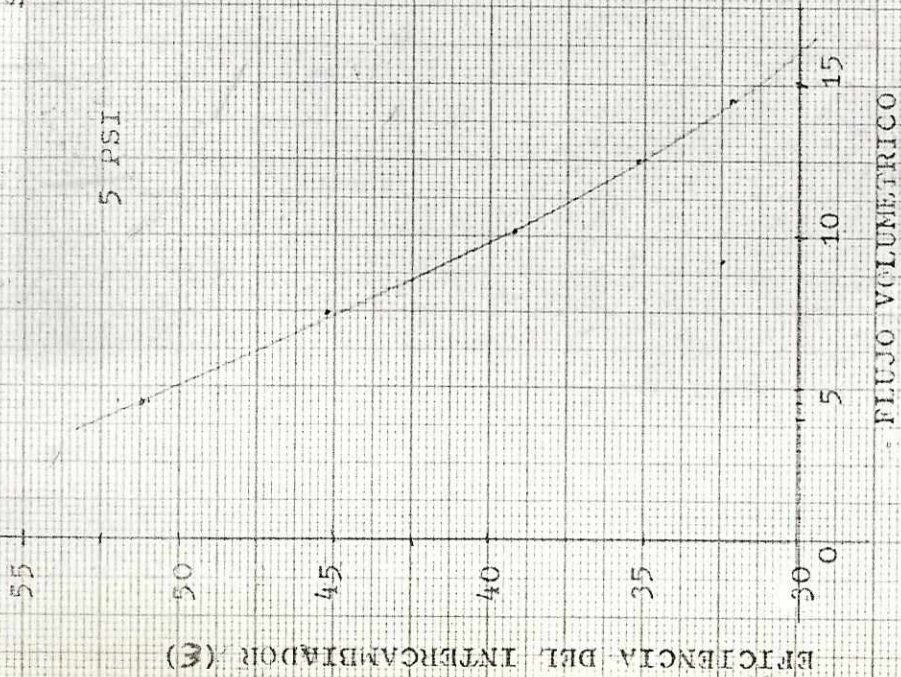
Esta relación muestra la razón entre la temperatura alcanzada por el flujo frío al pasar por el intercambiador y la temperatura máxima alcanzable debido al diferencial de temperaturas entre el vapor y el flujo frío.

Los flujos volumétricos Q de la tabla L.1 fueron obtenidos a partir de la Gráfica M.1 de la calibración del medidor de orificio del sistema de intercambio de calor (Anexo M).

TABLA L. 1

Pvap	Tent vap°F	Qlt/min	Tagusal°F	Taguaent°F	E
1. 5	162.1	4.42	118.4	72.5	51.2
2. 5	162.1	7.39	113.0	72.5	45.2
3. 5	162.1	10.15	107.6	72.5	39.2
4. 5	162.1	12.45	104.0	72.5	35.2
5. 5	162.1	14.48	101.3	72.5	32.1
6. 7	176.6	4.42	122.0	72.5	47.6
7. 7	176.6	7.39	113.0	72.5	38.9
8. 7	176.6	10.15	107.6	72.5	33.7
9. 7	176.6	12.45	104.9	72.5	31.1

VARIACION DE LA EFICIENCIA DEL INTERCAMBIADOR
SEGUN EL FLUJO VOLUMETRICO



ANEXO M

COEFICIENTE DEL ORIFICIO

La ecuación del orificio es $U_o = \frac{C_o}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{\frac{2gc \Delta p}{\rho}}$

Mc Cabe (1976:209), con U_o = velocidad a través de orificio

β = razón entre el diámetro del orificio y el diámetro de la línea

p = caída de presión entre las tomas del manómetro diferencial antes y después del orificio

Multiplicando ambos lados por el área (A) se obtiene,

$$U_o \cdot A = \frac{C_o A}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{\frac{2gc}{\rho}} \sqrt{\Delta p} \quad (1)$$

$$Q = K \sqrt{\Delta p} \quad (2)$$

que es la ecuación de la recta obtenida al graficar el flujo volumétrico (Q) contra la caída de presión (p).

Para convertir la gráfica de la ecuación (2) en una recta se convierte la ecuación en una función logarítmica agregando la función log en ambos lados,

$$\text{Log } Q = \text{Log } K + 1/2 \text{ Log } p \quad (3)$$

La ecuación (3) se puede graficar directamente en papel log., Gráfica M.1, cuyos datos están tabulados en la tabla M.1.

La ecuación obtenida de la gráfica M.1 es

$$Q = 1.85 \times 10^{-3} p^{1/2} \text{ donde } K = 1.85 \times 10^{-3}$$

De las ecuaciones (1) y (2) se tiene

$$1.85 \times 10^{-3} = \frac{C_o A}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{\frac{2gc}{\rho}} \quad \text{Con } \rho_{\text{agua}} = 62.4 \text{ lb/pie}^3$$

$$gc = 32.2 \text{ lb pie/lbf seg}^2$$

$A = \pi/4 D_o^2 = \pi/4 (\emptyset.824/12)^2 = 3.7 \times 10^{-3} \text{ pie}^2$, con tubería de 1" de diámetro nominal

$$\beta = D_o/D_t = \emptyset.312 / \emptyset.824 = \emptyset.379$$

$$C_o = \frac{1.85 \times 10^{-3} \sqrt{1 - (\emptyset.364)^4}}{3.7 \times 10^{-3} \text{ pie}^2 \sqrt{\frac{2 \times 32.2 \text{ pie lb/lbf seg}^2}{62.4 \text{ lb/pie}^3}}} = \emptyset.49$$

Con el flujo volumétrico más bajo (Prueba 1), el número de Reynolds es,

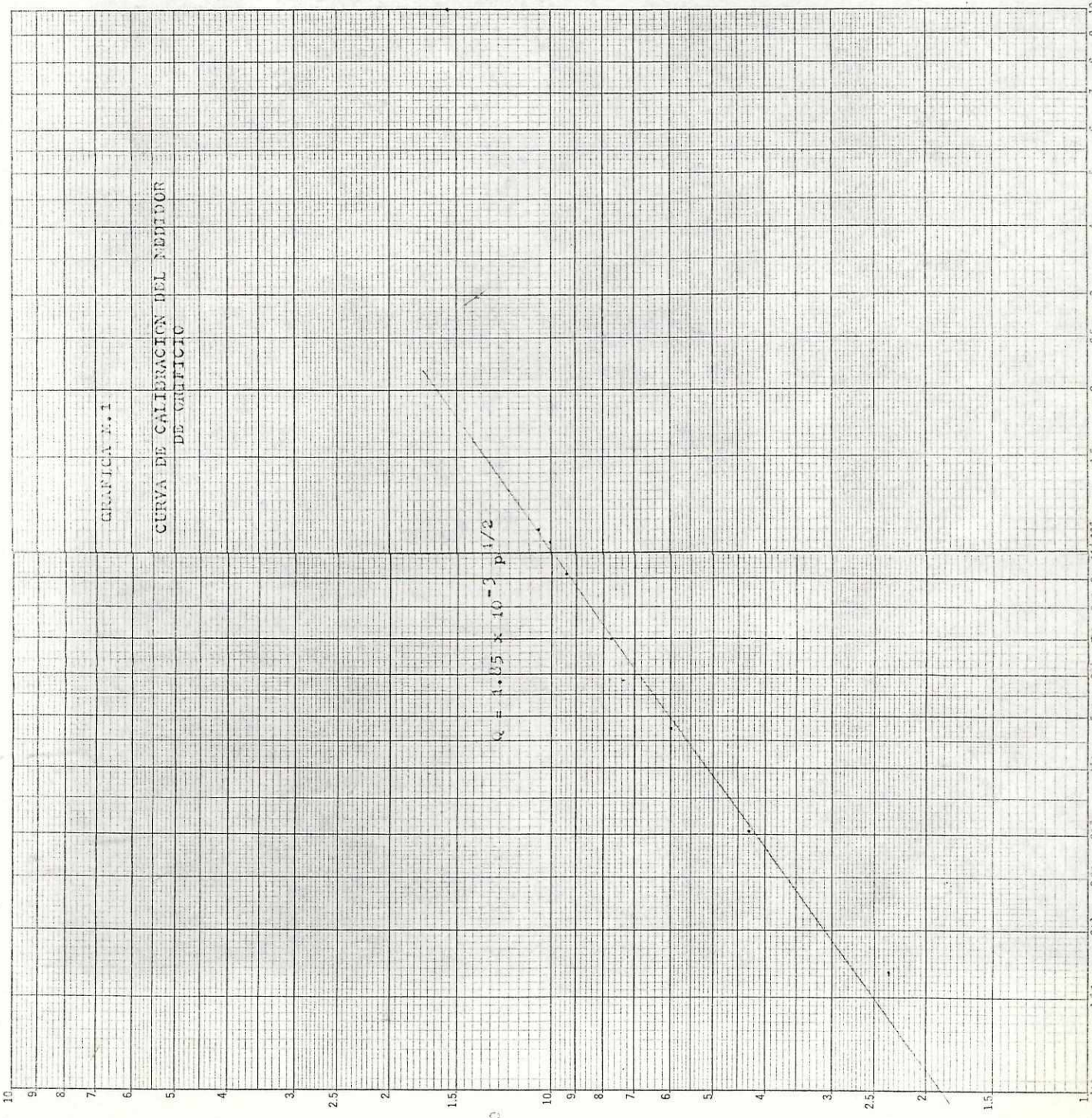
$$N_{re} = \frac{D U_o \rho}{\mu} = \frac{(\emptyset.824/12) \text{ pie} \cdot 2.25 \times 10^{-3} / 3.7 \times 10^{-3} \text{ pie/seg} \times 62.4 \text{ lb/pie}^3}{1 \text{ cp} \times \frac{6.7197 \times 10^{-4} \text{ lb/pie} \cdot \text{seg}}{\text{cp}}}$$

$$N_{re} = 4.049.92$$

Con el flujo volumétrico más alto, (prueba 8), el número de Reynolds es $N_{re} = 18.236.72$. Ambos números de Reynolds son menores de 20.000 por lo que el coeficiente del orificio (C_o) no es exacto, según Mc Cabe (1976:210).

TABLA M. 1

	Masa agua (lb)	Δp (mmhg)	- lbf/pie ²	Q pie ³ /seg (x 10 ³)
1.	2.2	60	167.12	2.35
2.	4.0	110	306.38	4.27
3.	5.6	170	473.49	5.98
4.	6.9	210	584.91	7.37
5.	7.2	250	696.32	7.69
6.	8.8	330	919.14	9.40
7.	9.4	390	1086.25	10.04
8.	9.9	430	1197.66	10.58



FLUJO VOLUMETRICO (Q)
 $\text{pies}^3/\text{seg} \times 10^3$

KEUFFEL & ESSER CO.
 RADIOMETER
 MADE IN U.S.A.

ANEXO N

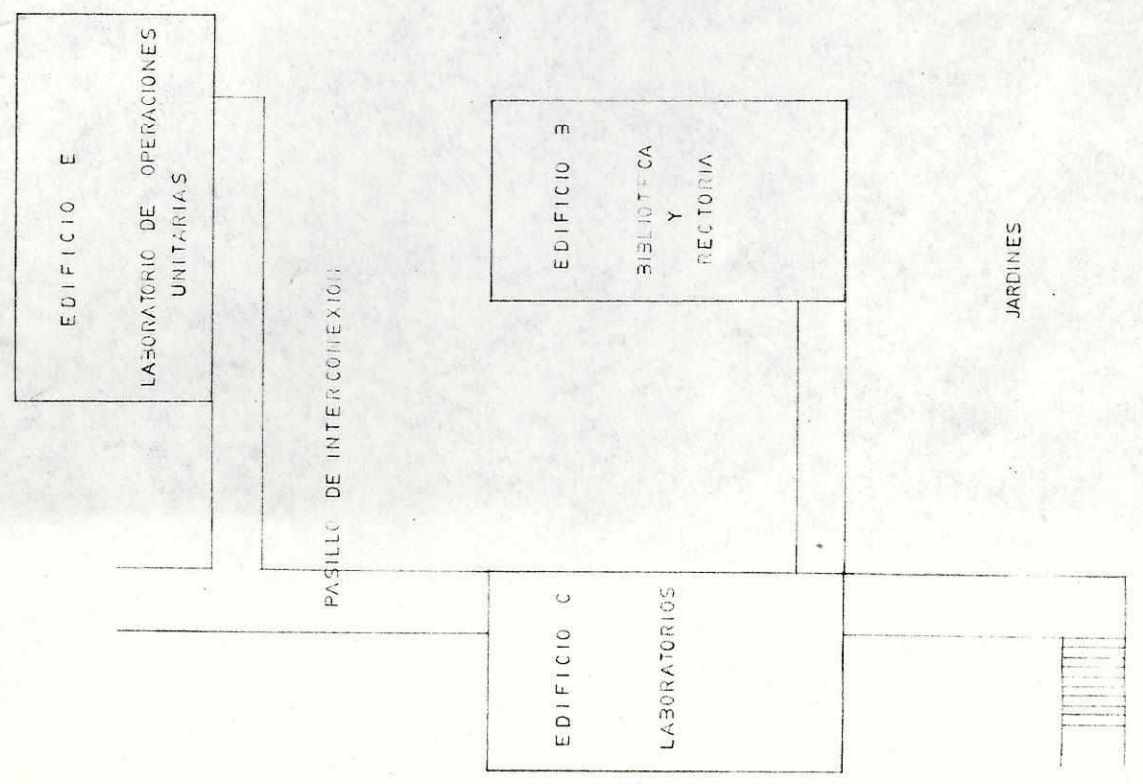
PLANOS DE LOS EQUIPOS Y SISTEMAS DEL LABORATORIO

A continuación se muestran los distintos planos consultados para la instalación de los equipos de Flujo de Fluídos, Transferencia de Calor y Transferencia de Masa del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Del Valle de Guatemala.

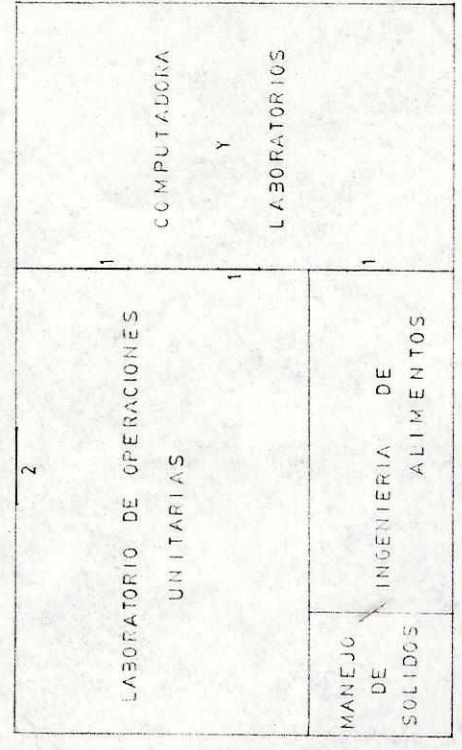
Además se incluye un plano del sistema de purificación y almacenaje de agua (Plano 19) que no ha sido instalado aún, pero que puede llegar a funcionar en el futuro.

PLANO No. 1

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

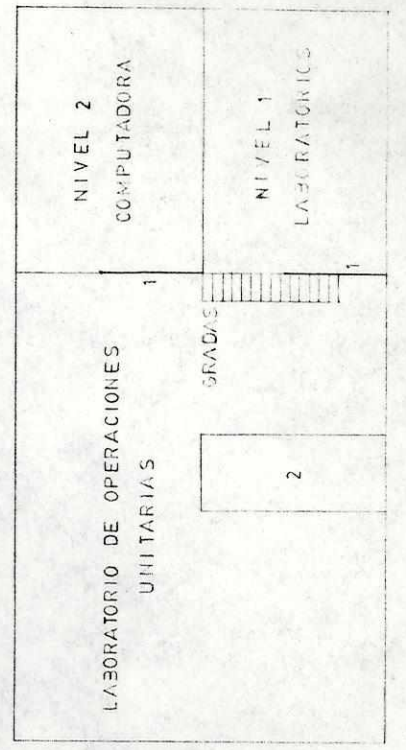


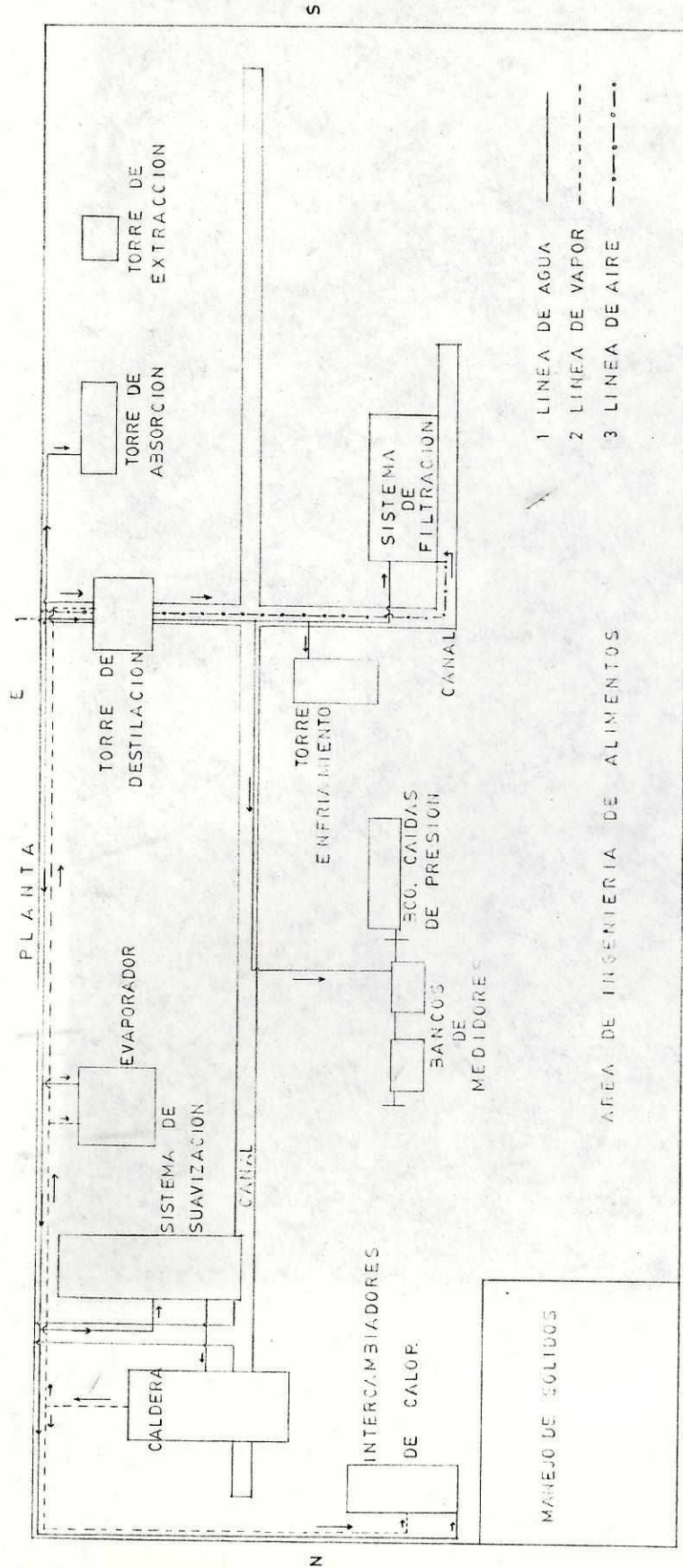
EDIFICIO E PLANTA



1 ENTRADA
2 ENTRADA GRANDE

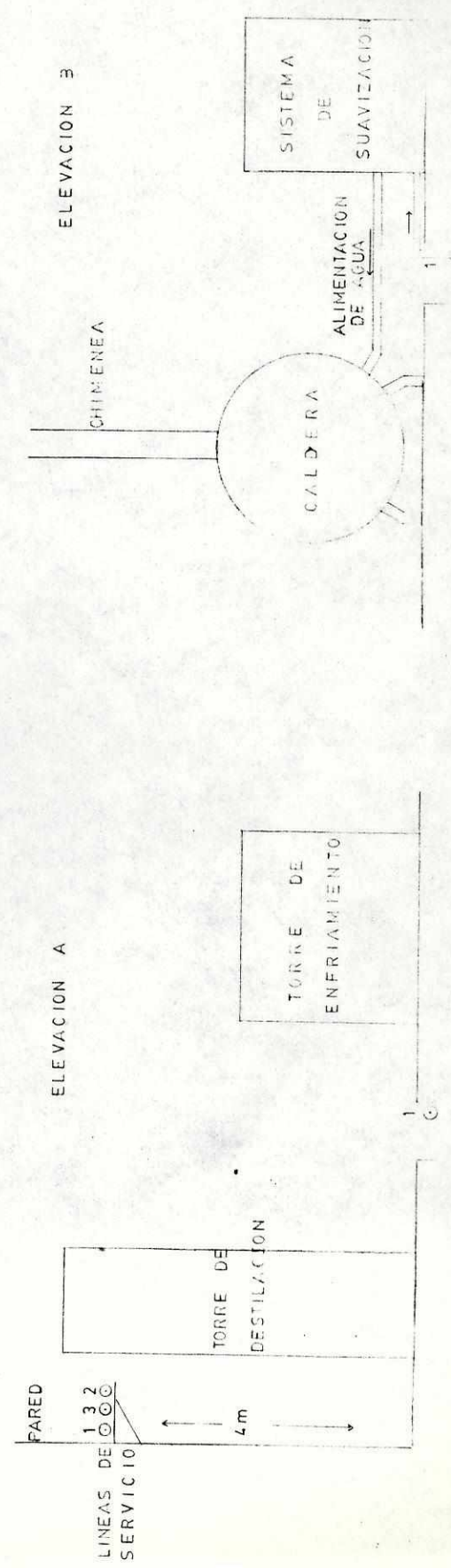
EDIFICIO E ELEVACION



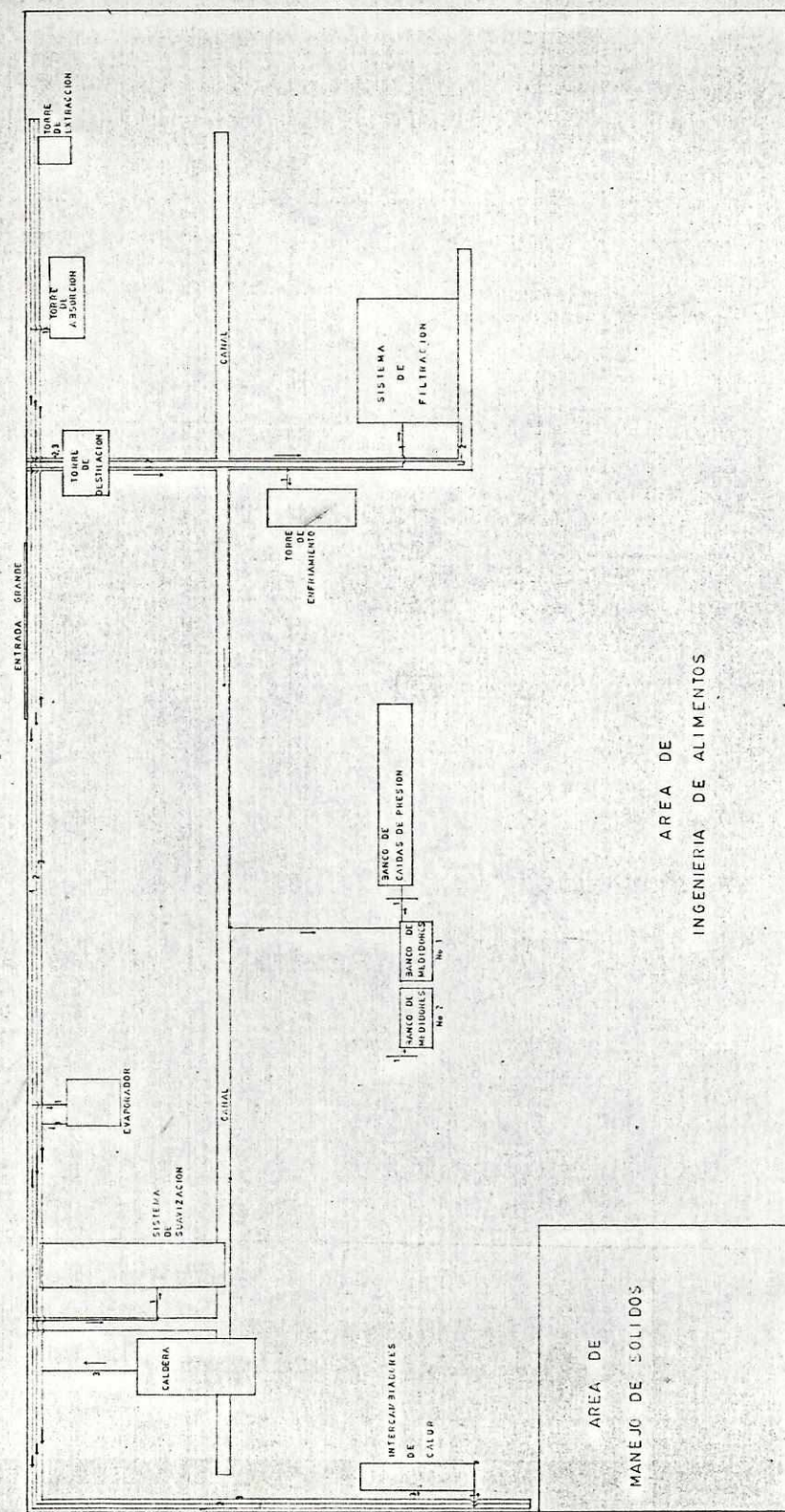


AREA DE INGENIERIA DE ALIMENTOS

— PLANO No.2 LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS —



PLANO No. 3

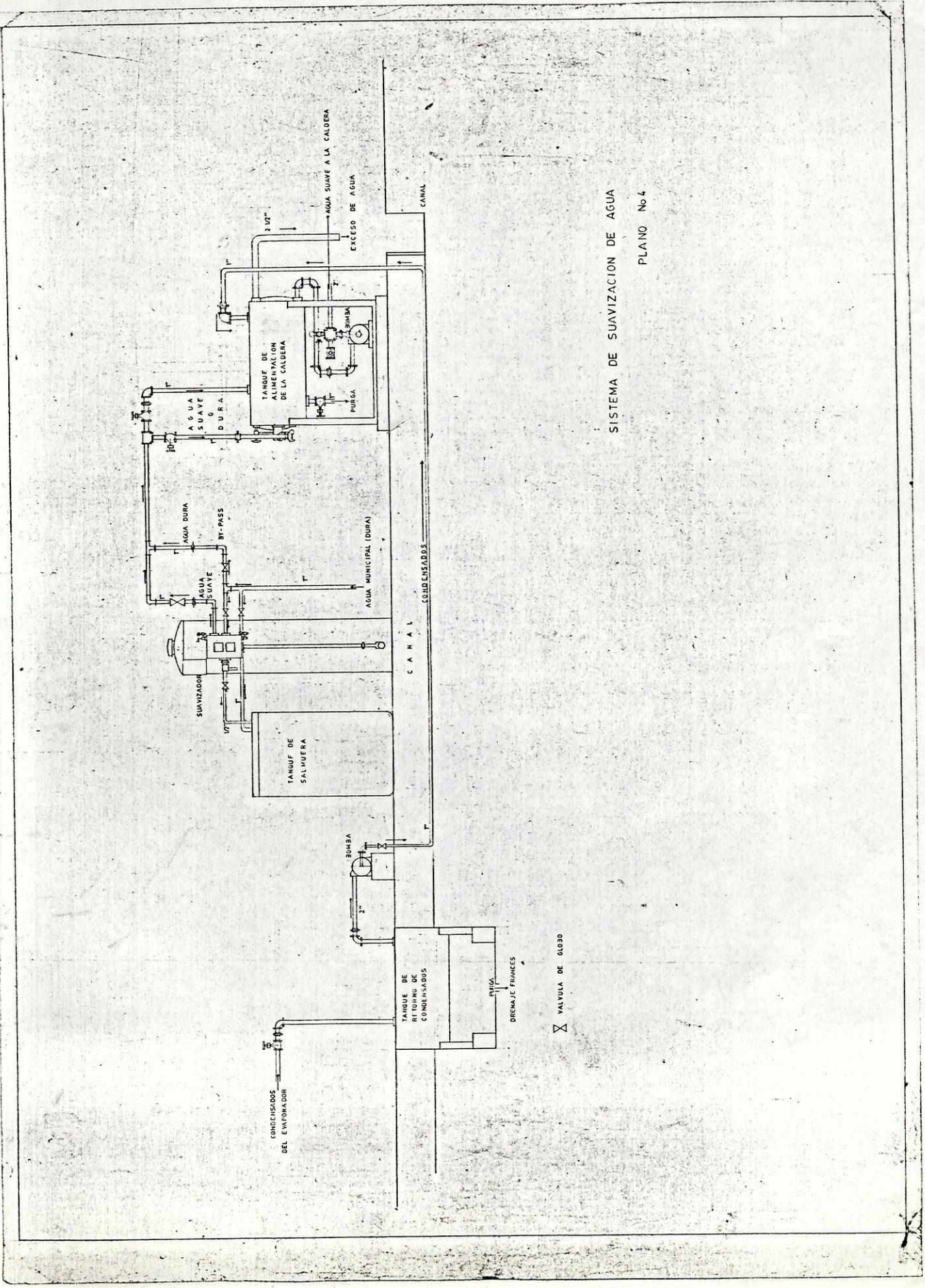


LINEAS DE SERVICIO
1. AGUA
2. AIRE
3. VAPOR

AREA DE
INGENIERIA DE ALIMENTOS

AREA DE
MANEJO DE SOLIDOS

LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS
ESCALA 1:50



SISTEMA DE SUAVIZACION DE AGUA
 PLANO No 4

VALVULA DE GLOBOS

DRENAJE FINANCES

CANAL

CONDENSADOS

CANAL

EXCESO DE AGUA

CONDENSADOS DEL EVAPORADOR

TANQUE DE RETORNO DE CONDENSADOS

BOMBA

TANQUE DE SALMUERA

SUAVIZADOR

AGUA SUAVE

BY-PASS

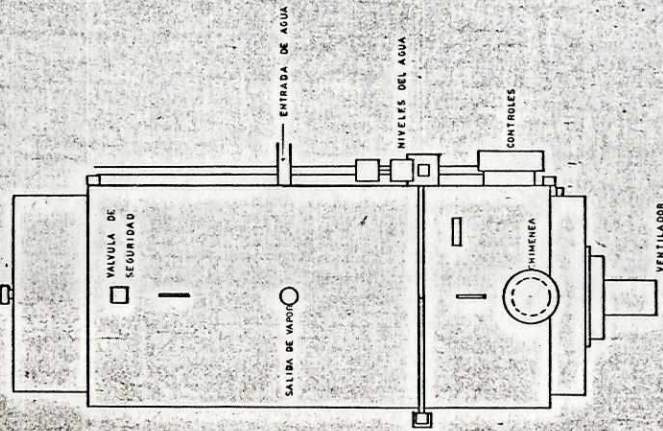
AGUA DURA

TANQUE DE ALIMENTACION DE LA CALDERA

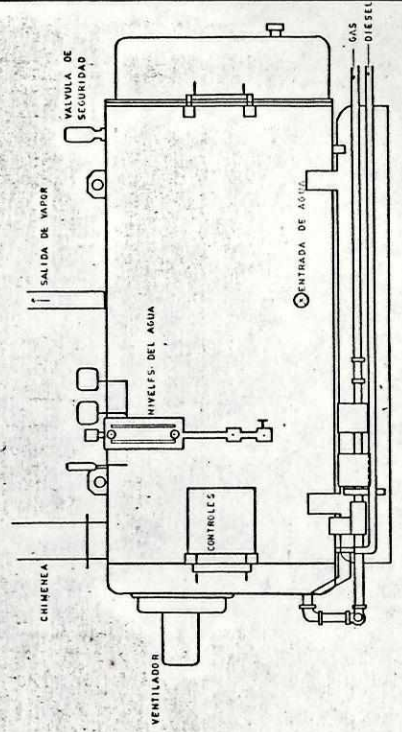
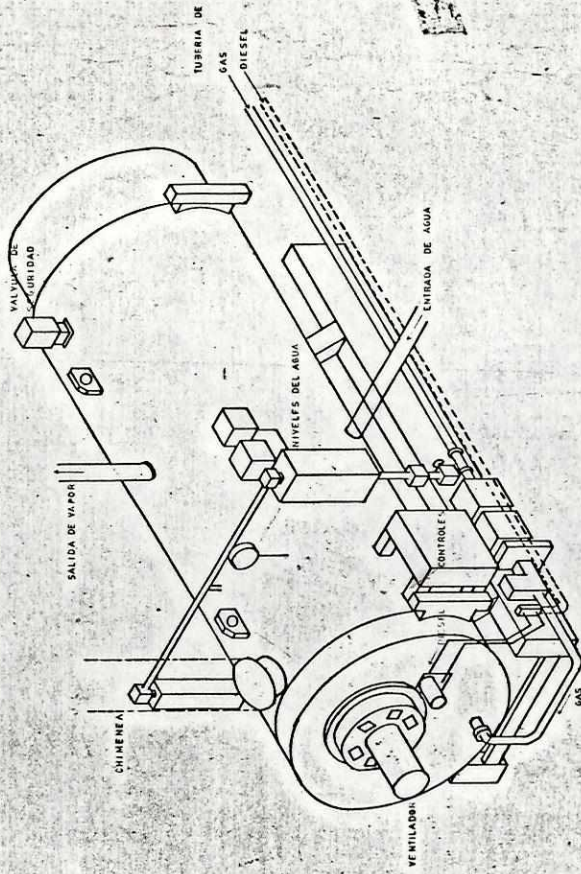
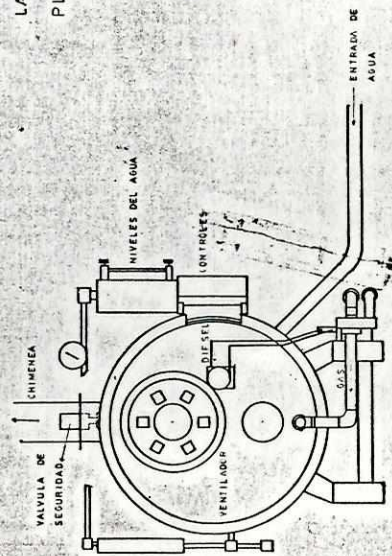
PULGUA

BOMBA

AGUA SUAVE A LA CALDERA

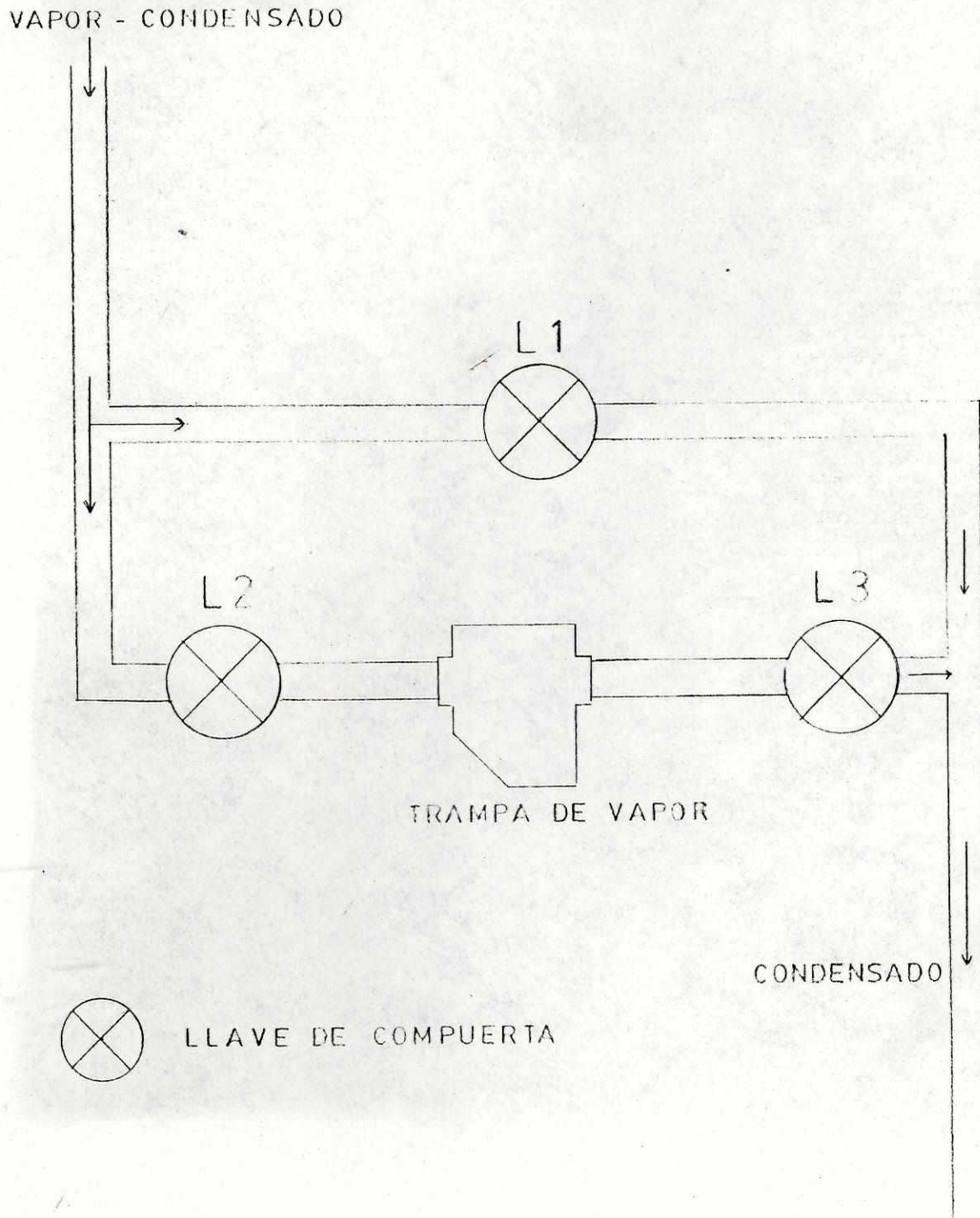


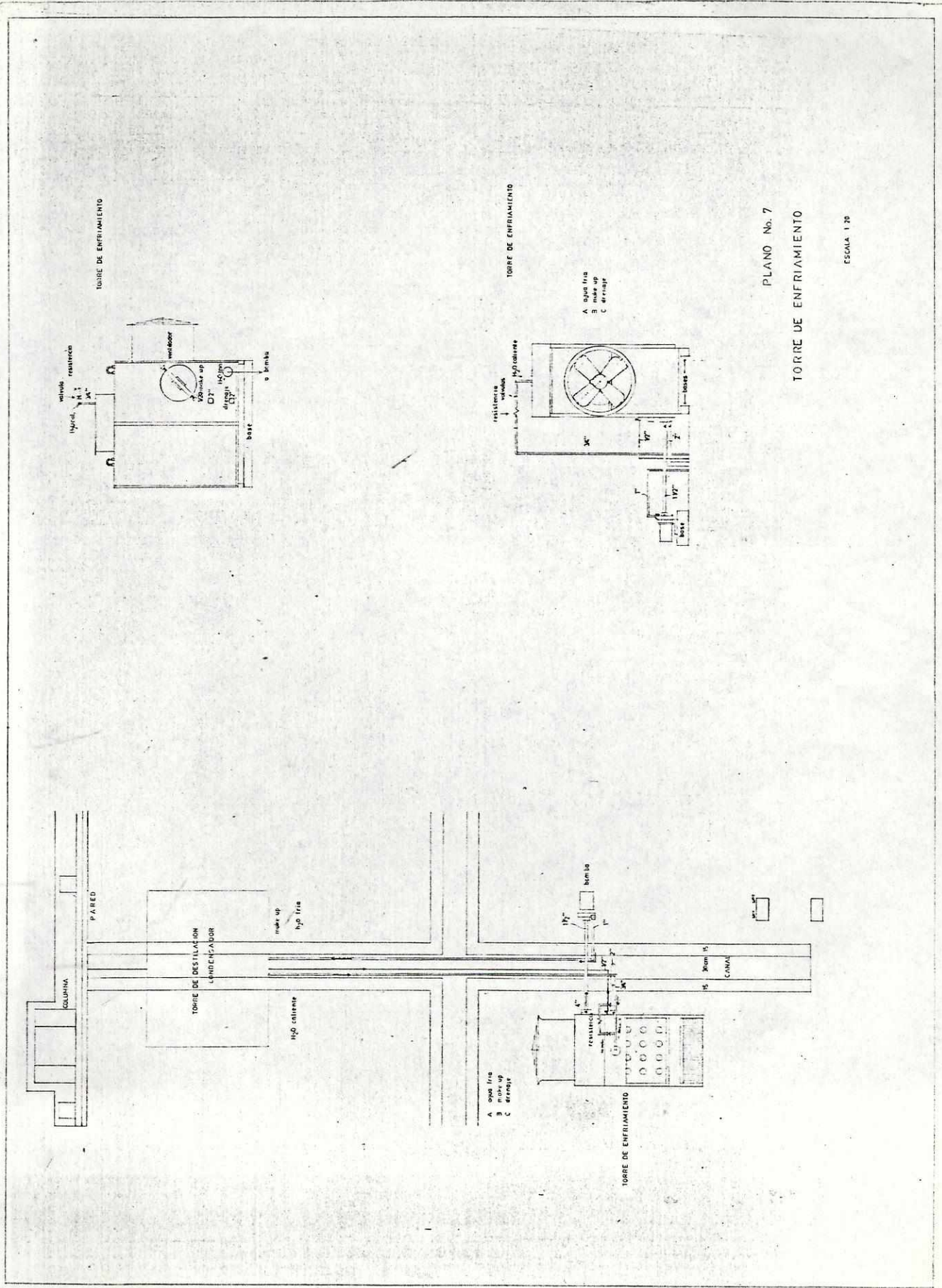
LA CALDERA
PLANO No. 5



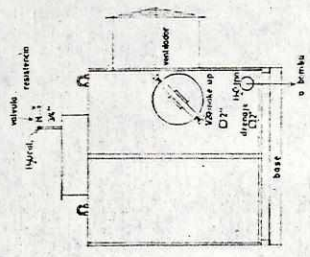
PLANO No 6

TRAMPA DE VAPOR

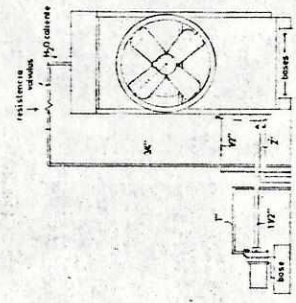




TORRE DE ENFRIAMIENTO



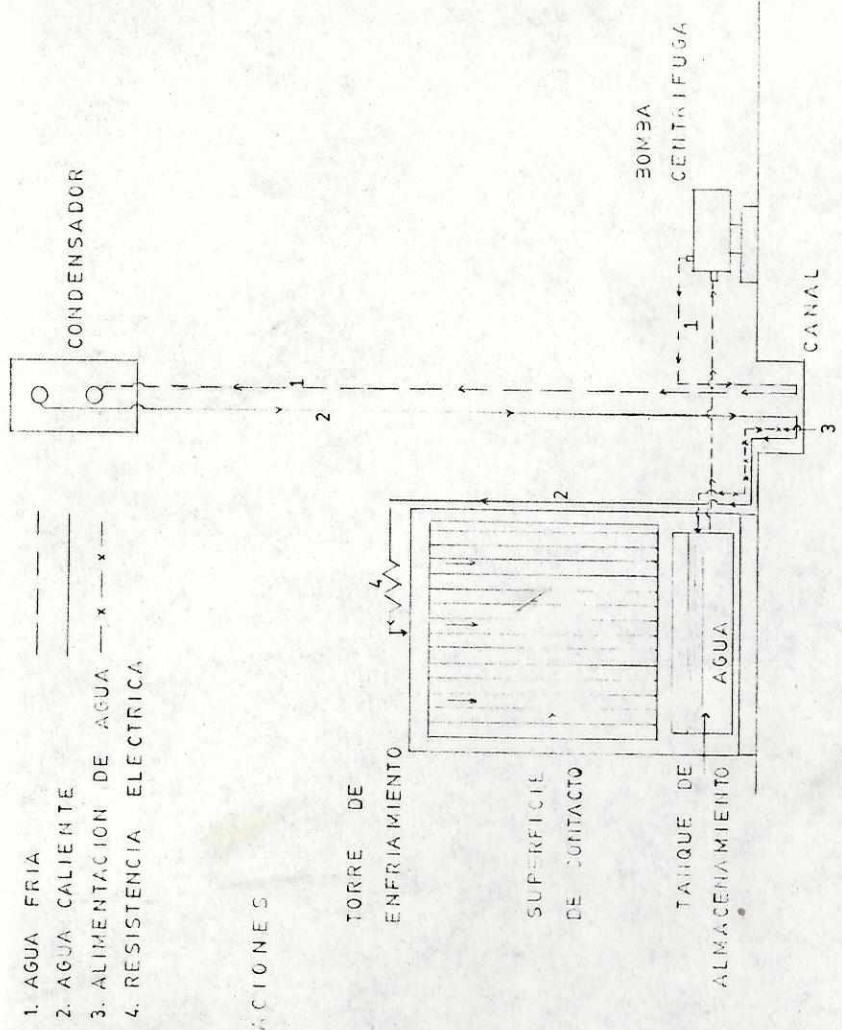
TORRE DE ENFRIAMIENTO



PLANO No. 7

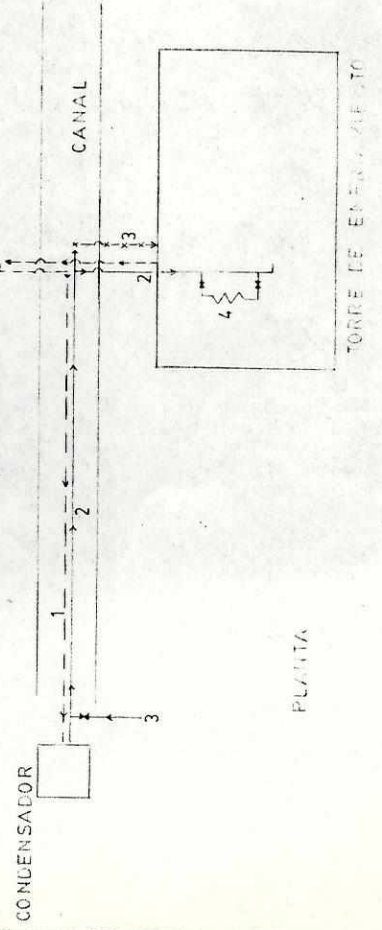
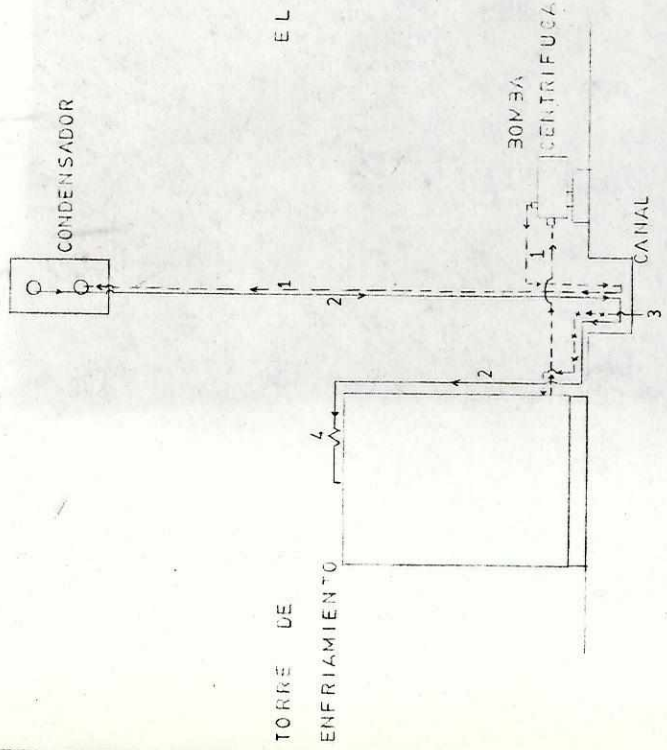
TORRE DE ENFRIAMIENTO

ESCALA 1/20



- 1. AGUA FRIA
- 2. AGUA CALIENTE
- 3. ALIMENTACION DE AGUA
- 4. RESISTENCIA ELECTRICA

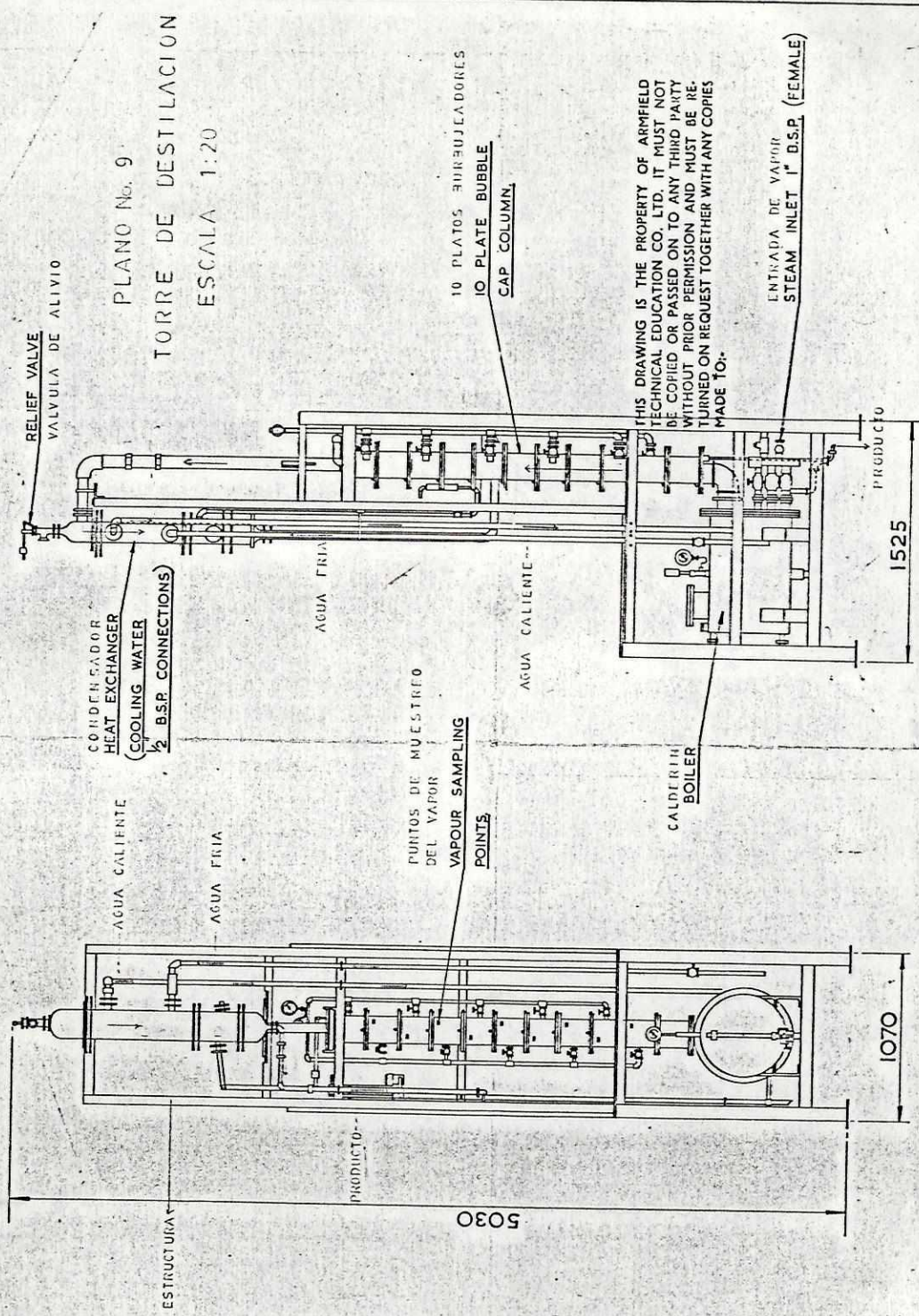
ELEVACIONES



PLANO No. 8

SISTEMA CONDENSADOR -
TORRE DE ENFRIAMIENTO

PLANTA



PLANO No. 9
TORRE DE DESTILACION
ESCALA 1:20

THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF ARMFIELD TECHNICAL EDUCATION CO. LTD. IT MUST NOT BE COPIED OR PASSED ON TO ANY THIRD PARTY WITHOUT PRIOR PERMISSION AND MUST BE RETURNED ON REQUEST TOGETHER WITH ANY COPIES MADE TO.

INSTALLATION DETAILS FOR BUBBLE CAP RECTIFICATION COLUMN, RG 3625.

SERVICES REQUIRED:
STEAM SUPPLY: 25 kg / hour at 250 KN / m²
COOLING WATER: 1 LITRE / SEC.

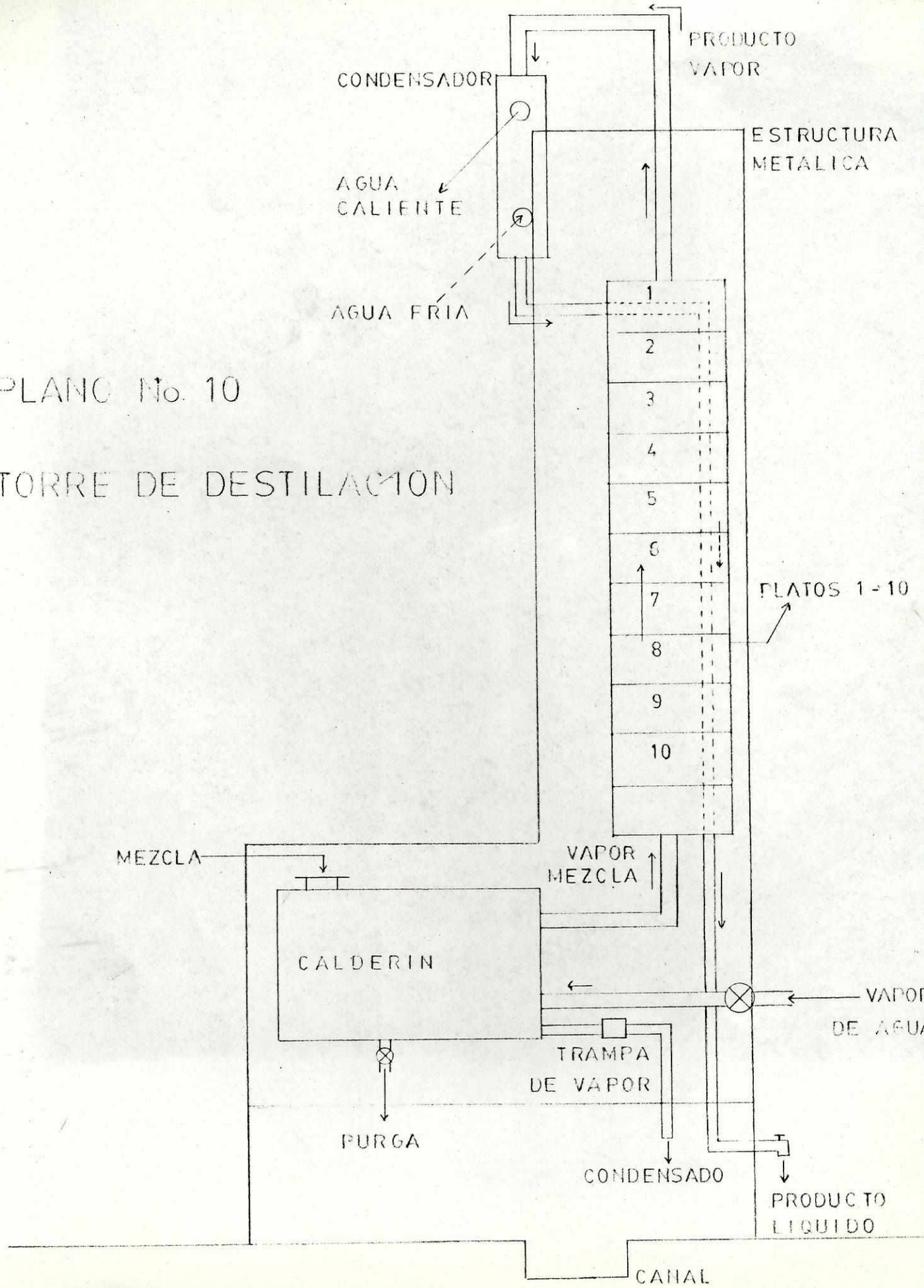
GROSS WEIGHT: 1750 Kg

DRAWING No.
ID 1136

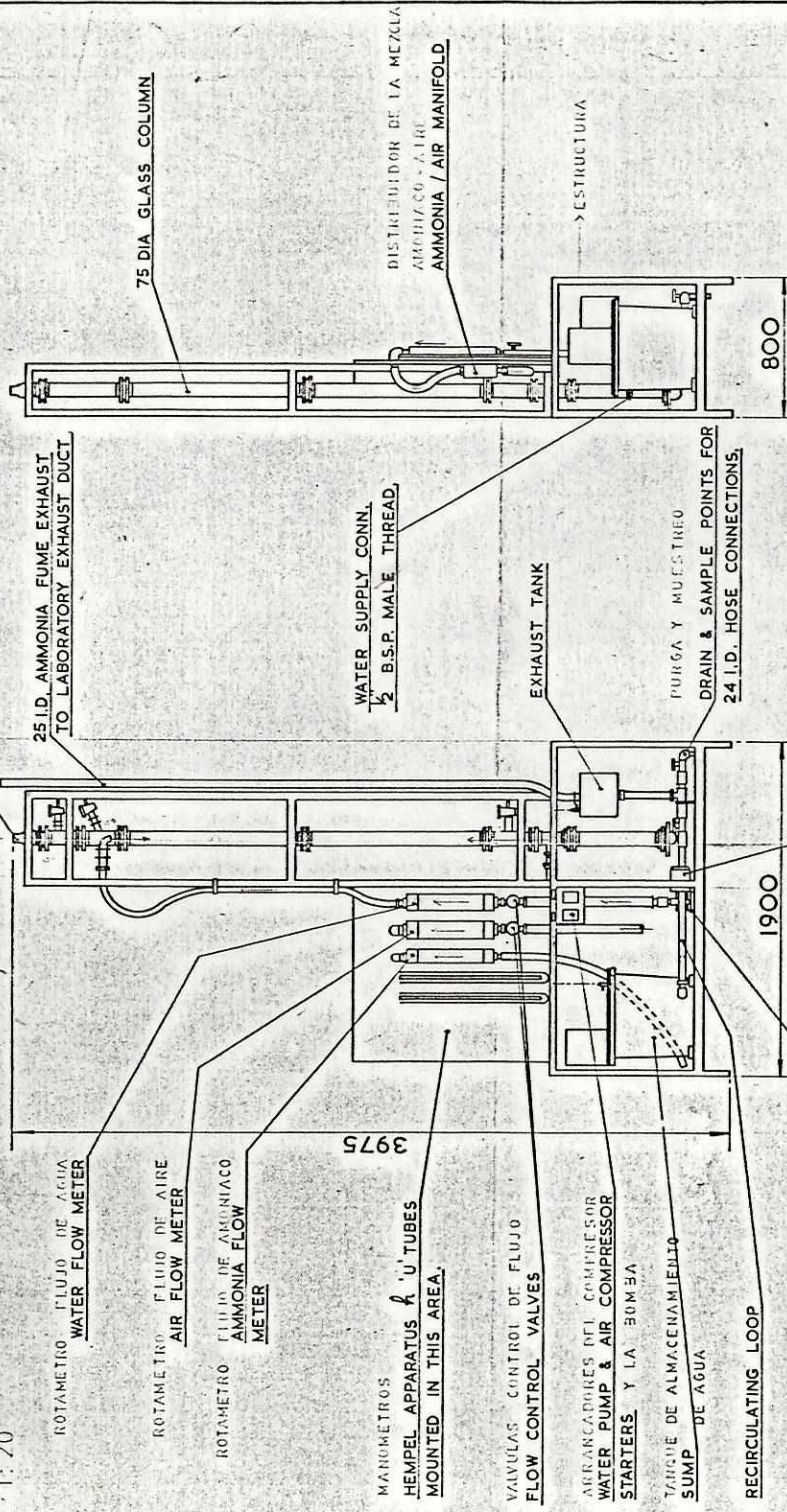
ARMFIELD TECHNICAL EDUCATION Co. LTD.
RINGWOOD, HANTS, ENGLAND.

PLANO No. 10

TORRE DE DESTILACION



PLANO No. 11. FIRST ANGLE PROJECTION
 TORRE DE ABSORCIÓN
 ESCALA 1:20



THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF ARMFIELD TECHNICAL EDUCATION CO. LTD. IT MUST NOT BE COPIED OR PASSED ON TO ANY THIRD PARTY WITHOUT PRIOR PERMISSION AND MUST BE RETURNED ON REQUEST TOGETHER WITH ANY COPIES MADE TO.

INSTALLATION DETAILS FOR GAS / LIQUID ABSORPTION COLUMN. RG 3725

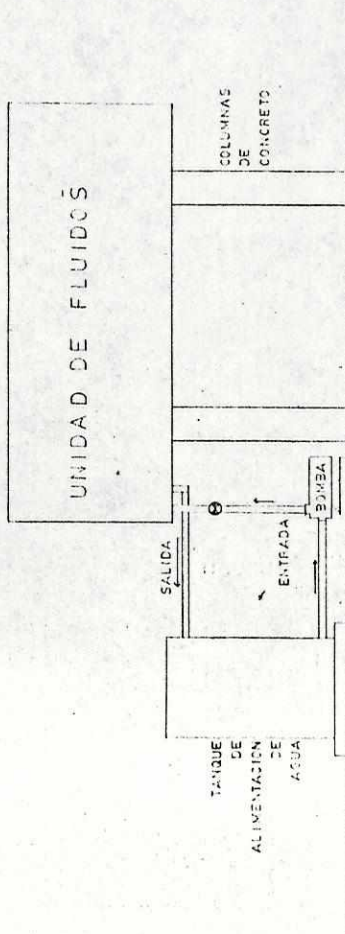
SERVICES REQUIRED:
 ELECTRIC SUPPLY: 220 - 240 V / 1 PHASE / 50 Hz - 1 KW.
 WATER SUPPLY: 200 LITRES / HOUR
 AMMONIA SUPPLY - BOTTLED.

GROSS WEIGHT: 900 Kg

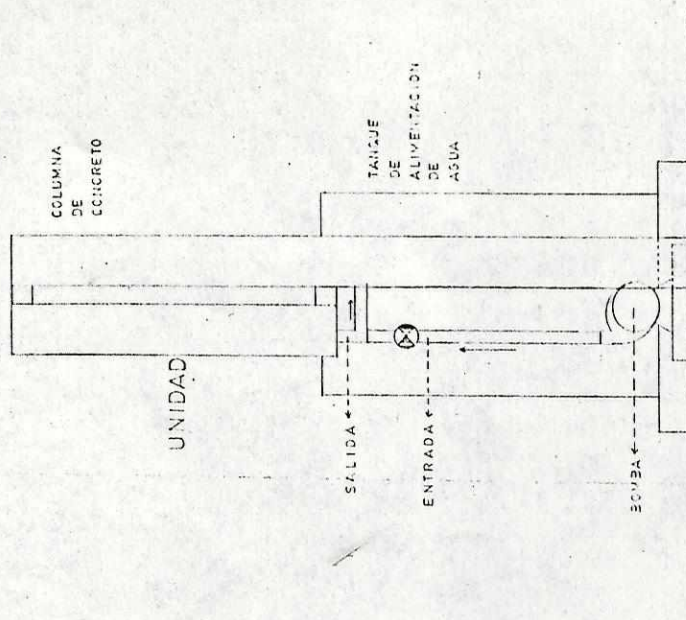
DRAWING No. ID 1138

ARMFIELD TECHNICAL EDUCATION CO. LTD.
 RINGWOOD, HAMPSHIRE, ENGLAND.

VALVULA DE COMP.ERTA



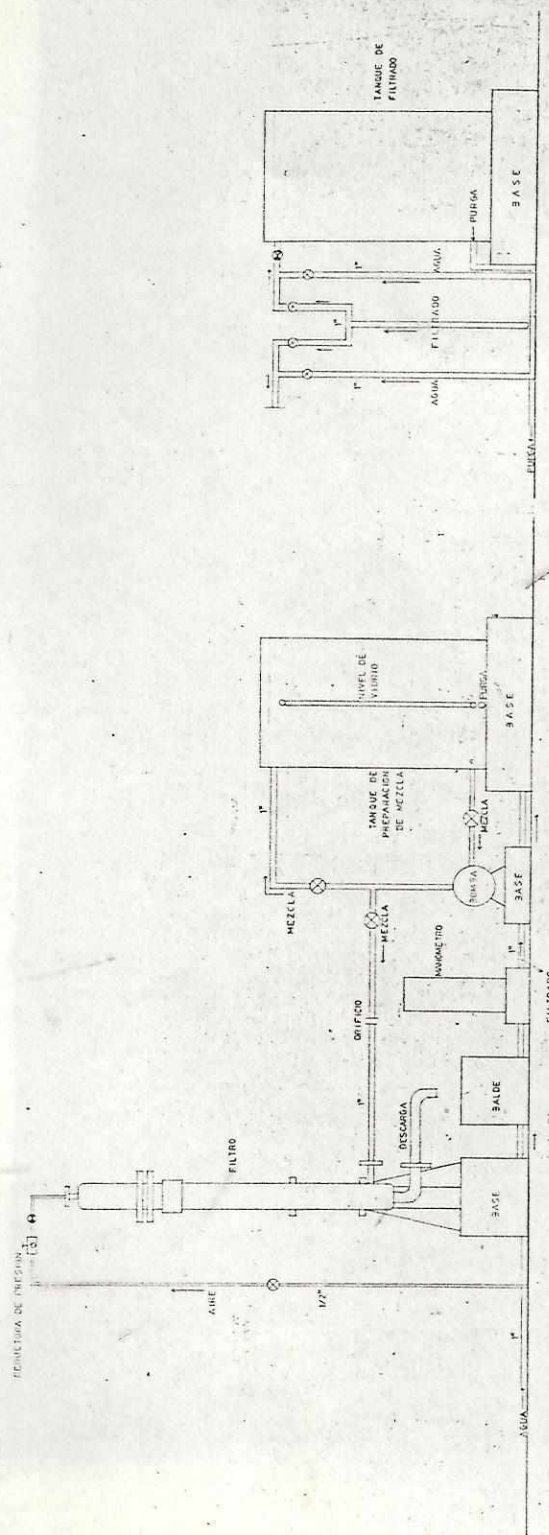
ESCALA 1:20



ESCALA 1:

PLANO No. 13

SISTEMA DE FLUIDOS
CAIDA DE PRESION

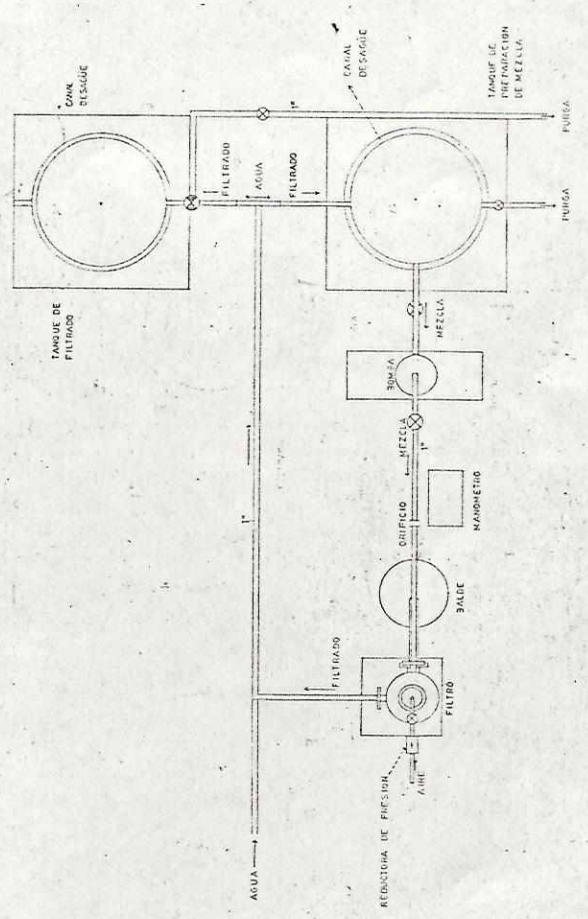


⊗ LLAVE DE OBRERO
 ⊕ LLAVE DE COMPUERTA

PLANO No. 14

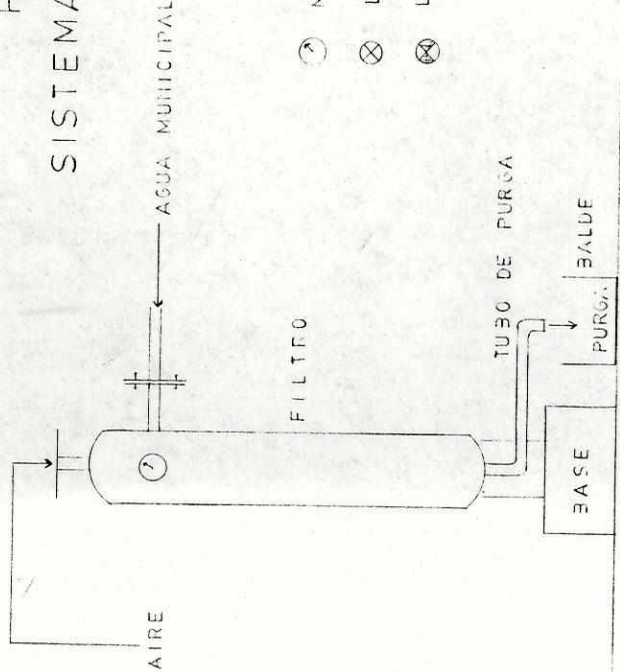
SISTEMA DE FILTRACION

ESCALA 1:10

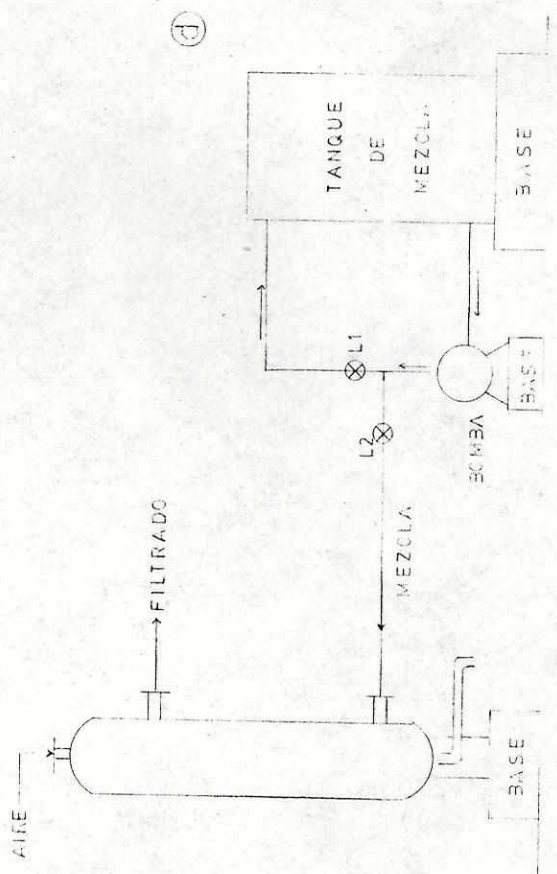
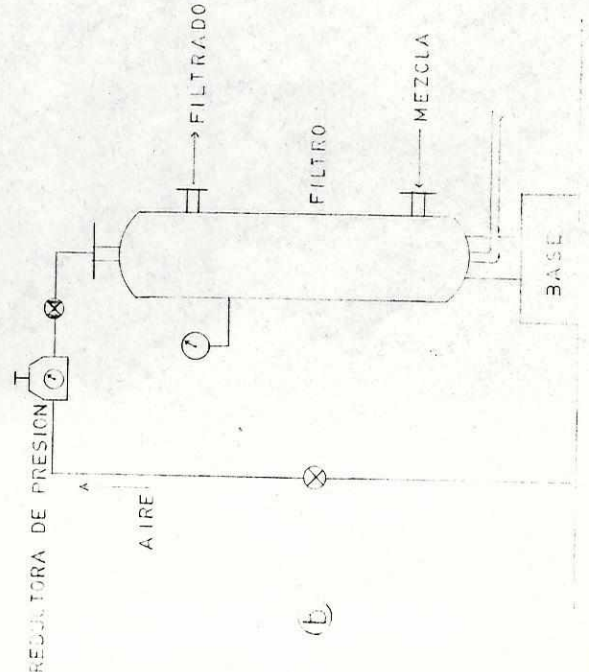
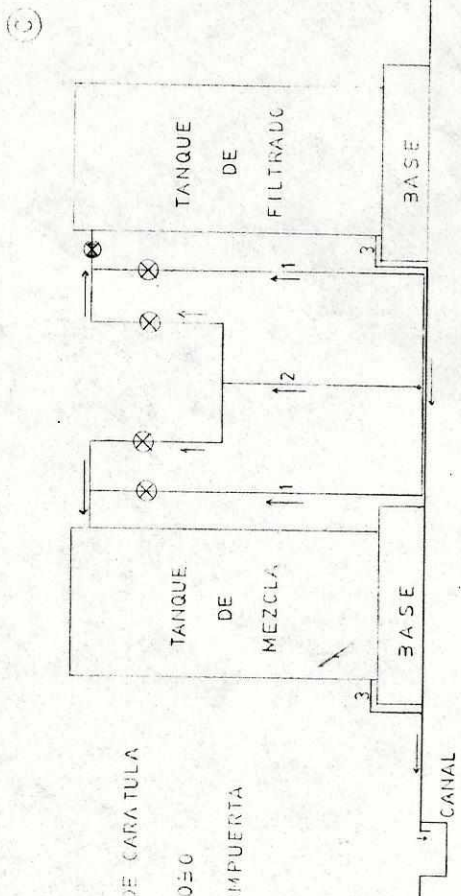


PLANO No. 15 SISTEMA DE FILTRACION

- 1. AGUA MUNICIPAL
- 2. FILTRADO
- 3. PURGA



- ⊙ MANOMETRO DE CARATULA
- ⊗ LLAVE DE GLOBO
- ⊗ LLAVE DE COMPUERTA

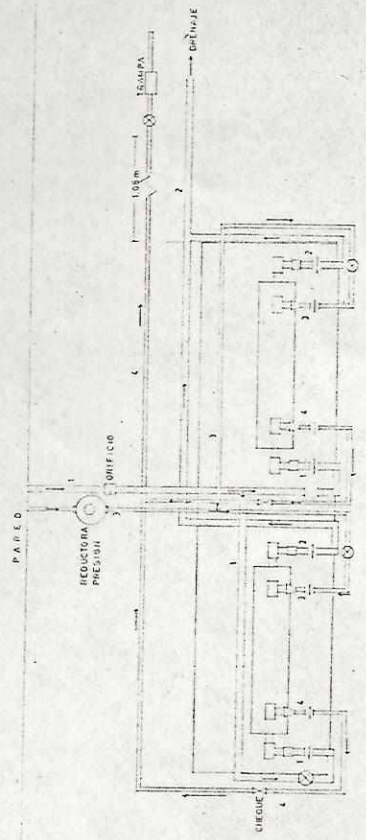
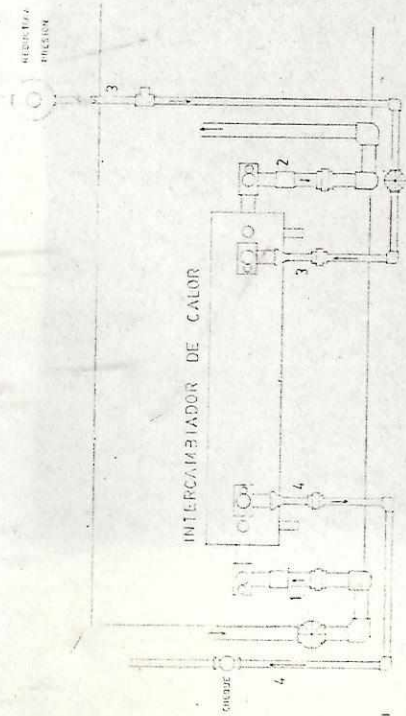


(a)

(d)

(e)

(c)

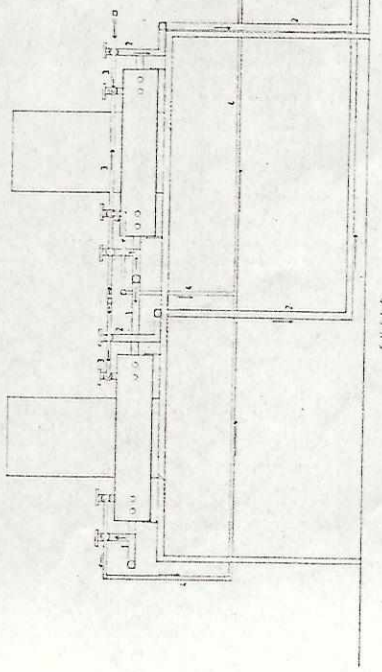


ESCALA 1:10

- ⊗ LLAVE DE CIERRE
- || UNION UNIVERSAL
- ⊞ LUGAR DE COLOCACION DE LOS TERMOMETROS

- 1 AGUA ENTRANDO
- 2 AGUA SALIENDO
- 3 VAPOR ENTRANDO
- 4 VAPOR SALIENDO

PANORAMA RENOVABLE

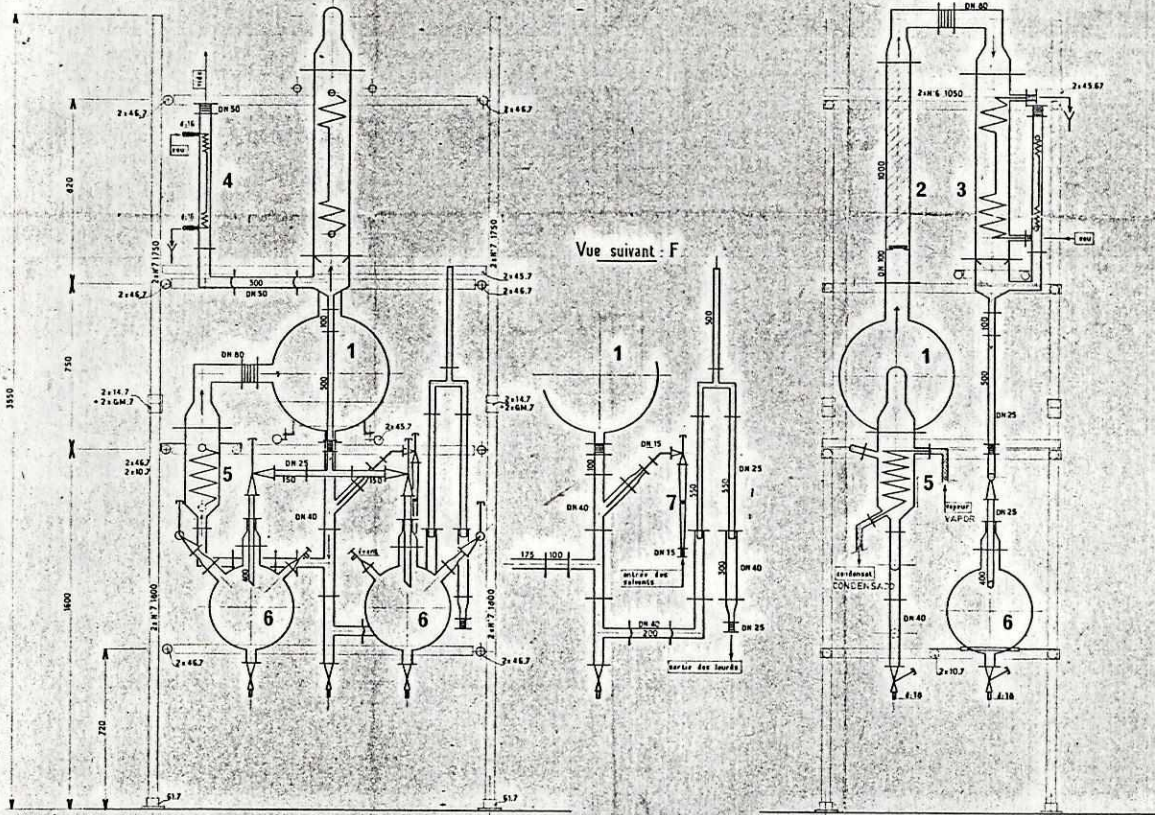


SISTEMA DE INTERCAMBIADORES DE CALOR

PLANO No. 15

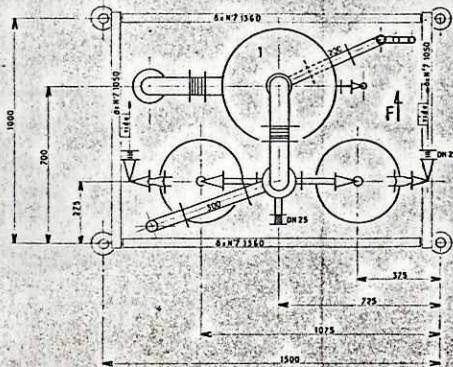
ESCALA 1:10

SUELO



PLANO No. 16

SISTEMA DE EVAPORACION
ESCALA 1:10



NOTA:
LE PLAN 75044 DEVIENT UD 301

REP	DESIGNATIONS	DN	MATIERE	OBSERVATIONS
1	BALON PRINCIPAL Ballon de 50l	50l	verre	Ballon type D Y50 50 - capacité utile 25l. cal. DN 100
2	COLONNE ÉPAPPEE Colonne de fractionnement à serpenteau "ALCANTARA"	100	verre	Anneaux rasching 10x10 en verre avec plaque PTFE de retenu
3	CONDENSADOR Condenseur S= 1,5 m ²	150	verre	Echangeur à serpentine HE 6/15 Qm. liquide réfrigérant = 1800 kg/h
4	CONDENSADOR à piège Condenseur S= 0,3 m ²	50	verre	Echangeur à serpentine HE 2 Qm. liquide réfrigérant = 1300 kg/h
5	INTERCAMBIADOR CON Bouilleur S= 0,15 m ² SERPENTIN	150	verre	Echangeur à serpentine HEB 6
6	RECEITE 20l.	20l	verre	Ballon type U, Y50 20 cal. DN 40 rab. de soutirage DN 40 ref. 10 TV 250, taille: 7
7	Débitmètre	15	verre	Flotteur inox butre P.T.F.E.

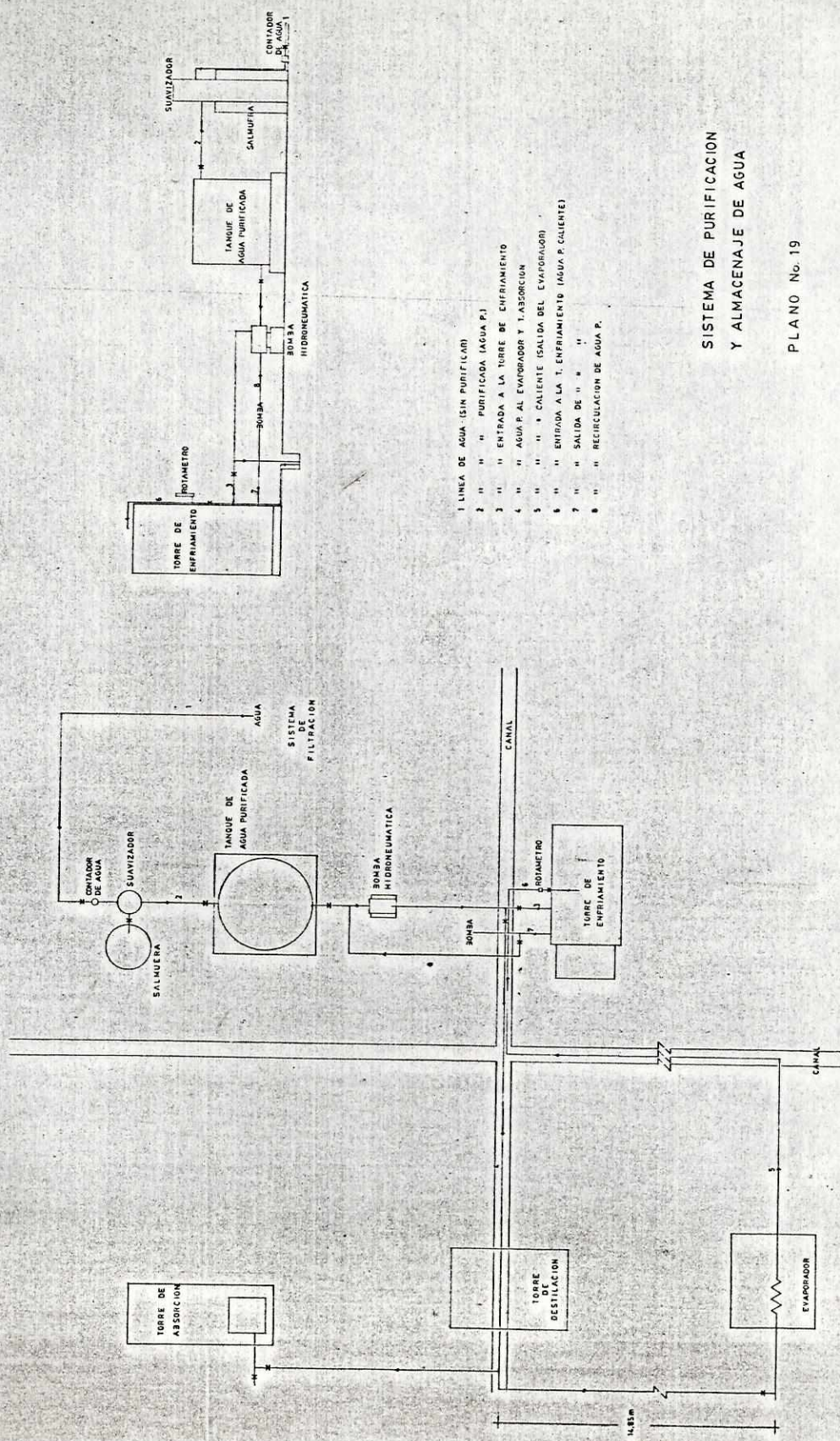
Ce plan est la propriété de la Société E.I.V.S. et ne peut être reproduit ou réimpression sans autorisation.

TELEPHONE: 294 70 04
TELEX: 80977

EQUIPEMENT INDUSTRIEL EN VERRE SPECIALISE

23, QUAI ALFRED BRUYER - 92 VALLENTIGNEY-LAGNY

MODIFICATIONS			
EVAPORATEUR SIMPLE EFFET			
UNITE - I -			
ECHAELLE 1/10	OBSERVATEUR A. SITBON	CHIFFRE RIEFF.	DATE 1950
			N° PLAN UD 301



- 1 LINEA DE AGUA (SIN PURIFICAR)
- 2 " " PURIFICADA (AGUA P.)
- 3 " " ENTRADA A LA TORRE DE ENFRÍAMIENTO
- 4 " " AGUA P. AL EVAPORADOR Y T. ABSORCIÓN
- 5 " " " " CALIENTE (SALIDA DEL EVAPORADOR)
- 6 " " ENTRADA A LA T. ENFRÍAMIENTO (AGUA P. CALIENTE)
- 7 " " SALIDA DE " " "
- 8 " " RECIRCULACIÓN DE AGUA P.

SISTEMA DE PURIFICACION
Y ALMACENAJE DE AGUA

PLANO No. 19

ESCALA 1:25'

ANEXO O

REGISTRO DE LOS EQUIPOS DEL LABORATORIO

En las siguientes hojas de registro se resume la información y aspectos técnicos más importantes de cada equipo, de los sistemas que forman parte del Laboratorio de Operaciones Unitarias.

En cada registro se da el nombre del equipo, número de serie, fabricante, representante, costo y algunos detalles técnicos; si tiene algún motor se da la marca, potencia, voltaje y amperaje.

En estos registros se pretende llevar control de los equipos que ingresan al inventario del Laboratorio y evitar el extravío de los mismos; además se tiene toda la información reunida en un solo lugar, lo que facilita su consulta.

No. de Registro: _____

NOMBRE DEL EQUIPO: CALDERA No. DE SERIE: L-70692
 DEPARTAMENTO: QUIMICA SECCION: INGENIERIA QUIMICA
 MARCA: CLEAVER BROOKS MODELO: M 200 - 30 - 150
 FABRICANTE: AQUA CHEM, INC. DIRECCION: P.O. Box 421 Milwaukee, Wis
 REPRESENTANTE: SIDASA DIRECCION: Tel. 491268
 ORDEN DE COMPRA No.: _____ FECHA: _____ COSTO: \$15,426 NUEVA: X USADA: _____

FECHA RECIBIDA: _____	ANCHO: _____	AREA OCUPADA: _____
FECHA INSTALADA: _____	LARGO: _____	PESO: _____
FECHA ARRANCADA: _____	ALTO: _____	CARGA TOTAL CONECTADA: _____ KW

DETALLES TECNICOS: caldera de vapor de tubos de fuego horizontal con cuatro pasos, completamente automática, con un tanque de diesel de 300 gal y dos cilindros de gas propano de 100 PSI c/u. Sistema de suavización de agua LEAVER BROOKS con capacidad de 60,000 grains.

FABRICACION:	COJINETES:
	FAJAS:

REGISTRO DE MOTORES								ACCESORIOS:	
MARCA	MODELO #	# SERIE	TIPO	HP	RPM	VOLTS	AMP		
athon				1		230	15		Ventilador de la caldera
Rite				1/2		220	15		Bomba tanque de condensados
athon				3		220	15	Bomba tanque de alimentación	

OBSERVACIONES:	HERRAMIENTAS:
----------------	---------------

No. de Registro: _____

NOMBRE DEL EQUIPO: Columna de destilación No. DE SERIE: _____

DEPARTAMENTO: Química SECCION: Ing. Química

MARCA: Bubble-cap Rectification Colm. MODELO: RG-3625-CGH

FABRICANTE: Armfield Technical Educ. Co DIRECCION: Ringwood, Hampshire, England

REPRESENTANTE: Bimex Ltd. DIRECCION: Tel. 312419

ORDEN DE COMPRA No.: _____ FECHA: _____ COSTO: \$45,022 NUEVA: X USADA: _____

FECHA RECIBIDA: _____	ANCHO: _____	AREA OCUPADA: _____
FECHA INSTALADA: _____	LARGO: _____	PESO: _____
FECHA ARRANCADA: _____	ALTO: _____	CARGA TOTAL CONECTADA: _____ KW

TALLES TECNICOS: Columna de destilación de diez platos, calderín y condensador. En el calderín se carga la mezcla a destilar, comúnmente etanol-gua. El condensador utiliza el agua enfriada de la torre de enfriamiento.

FABRICACION:	COJINETES:
	FAJAS:

REGISTRO DE MOTORES

ACCESORIOS:

MARCA	MODELO #	# SERIE	TIPO	HP	RPM	VOLTS	AMP

OBSERVACIONES:	HERRAMIENTAS:
----------------	---------------

No. de Registro: _____

NOMBRE DEL EQUIPO: Columna de absorción No. DE SERIE: _____
 DEPARTAMENTO: Química SECCION: Ing. Química
 MARCA: Armfield Technical MODELO: RG 3725-Ceo
 FABRICANTE: Armfield Technical Educ. Co DIRECCION: Ringwood, Hampshire, England
 REPRESENTANTE: Bimes Ltd. DIRECCION: Rimex Ltd., Tel. 312419
 ORDEN DE COMPRA No.: _____ FECHA: _____ COSTO: \$34,137 NUEVA: X USADA: _____

HORA RECIBIDA: _____ HORA INSTALADA: _____ HORA ARRANCADA: _____	ANCHO: _____ LARGO: _____ ALTO: _____	AREA OCUPADA: _____ PESO: _____ CARGA TOTAL CONECTADA: _____ KW
--	---	---

DETALLES TECNICOS: Columna de absorción gas-líquido. Se utilizan tres fluidos: agua, aire y CO₂ (se puede utilizar NH₃). El aire y el CO₂ entran en la parte inferior de la columna, el agua en la parte superior, fluyen en contravía, en la columna empacada con anillos Rasching.

DESCRIPCION: _____	COJINETES: _____
	FAJAS: _____

REGISTRO DE MOTORES								ACCESORIOS:
MARCA	MODELO #	# SERIE	TIPO	HP	RPM	VOLTS	AMP	
Johnson		559280-R		1/2		220	3.96	
Watts Beresford		3-283		1/8		220	1.1	Bomba centrífuga

OBSERVACIONES: _____	HERRAMIENTAS: _____
----------------------	---------------------

No. de Registro: _____

NOMBRE DEL EQUIPO: Torre de extracción líq - líq No. DE SERIE: _____
 DEPARTAMENTO: QUIMICA SECCION: Ingeniería Química
 MARCA: KARR=EXTRACTION COLUMN MODELO: _____
 FABRICANTE: CHEM=PRO EQUIPMENT CORP DIRECCION: 27Daniel Road, Fairfield N.J.
 REPRESENTANTE: _____ DIRECCION: _____
 ORDEN DE COMPRA No.: _____ FECHA: _____ COSTO: _____ NUEVA: X USADA: _____

FECHA RECIBIDA: _____	ANCHO: _____	AREA OCUPADA: _____
FECHA INSTALADA: _____	LARGO: _____	PESO: _____
FECHA ARRANCADA: _____	ALTO: _____	CARGA TOTAL CONECTADA: _____ KW

TALLES TECNICOS: Torre de extracción líquido-líquido, tiene una columna de ^{de teflón} 1" de diámetro x 241cm de alto. El empaque de contacto es movido arriba hacia abajo por un motor de 1/4hp.

FABRICACION:	COJINETES:
	FAJAS:

REGISTRO DE MOTORES

MARCA	MODELO #	# SERIE	TIPO	HP	RPM	VOLTS	AMP
SIEMENS	C48H2502-RH			1/4		115	4.4

ACCESORIOS:

Motor que mueve el empaque de contacto

OBSERVACIONES:	HERRAMIENTAS:

No. de Registro: _____

NOMBRE DEL EQUIPO: Torre de enfriamiento No. DE SERIE: 834426-D

DEPARTAMENTO: Química SECCION: Ingeniería Química

MARCA: Baltimore Aircoil MODELO: FXT - 15

FABRICANTE: Baltimore Aircoil Co., Inc. DIRECCION: P.O.Box 7322, Baltimore, Md.

REPRESENTANTE: Aire-Sistemas, S.A. DIRECCION: 4a Calle 4-55 Z. 9

ORDEN DE COMPRA No.: _____ FECHA: _____ COSTO: \$7,800 NUEVA: X USADA: _____

FECHA RECIBIDA: _____	ANCHO: _____	AREA OCUPADA: _____
FECHA INSTALADA: _____	LARGO: _____	PESO: _____
FECHA ARRANCADA: _____	ALTO: _____	CARGA TOTAL CONECTADA: _____ KW

TALLES TECNICOS: El empaque de contacto es de PVC. Forma un circuito cerrado con el condensador de la torre de destilación (enfria el agua que condensador caliente).

FABRICACION:	COJINETES:
	FAJAS:

REGISTRO DE MOTORES

MARCA	MODELO #	# SERIE	TIPO	HP	RPM	VOLTS	AMP
GEORGE	C6011DB2A			1/2		230	
ELECTRIC		M9031/1082		1/2	3450	230	8.6

ACCESORIOS:
Ventilador, 5970 pie³/min
Bomba centrífuga

OBSERVACIONES:	HERRAMIENTAS:
----------------	---------------

No. de Registro: _____

NOMBRE DEL EQUIPO: Banco de medidores de flujo No. DE SERIE: P6100/141

DEPARTAMENTO: Química SECCION: Ing. Química

ARCA: Cussons Hydraulics MODELO: _____

ABRICANTE: G. Cussons DIRECCION: Berkeley Heights, N.J. 07922

REPRESENTANTE: AJBAY DIRECCION: Tel. 310129

ORDEN DE COMPRA No.: _____ FECHA: _____ COSTO: \$6,610 NUEVA: X USADA: _____

FECHA RECIBIDA: _____	ANCHO: _____	AREA OCUPADA: _____
FECHA INSTALADA: _____	LARGO: _____	PESO: _____
FECHA ARRANCADA: _____	ALTO: _____	CARGA TOTAL CONECTADA: _____ KW

TALLES TECNICOS: Mide la caída de presión en las distintas clases de medidores de flujo y en vertederos. Tiene un tanque de almacenamiento y su estructura está sobre ruedas.

CONSTRUCCION:

COJINETES:

FAJAS:

REGISTRO DE MOTORES

ACCESORIOS:

ARCA	MODELO #	# SERIE	TIPO	HP	RPM	VOLTS	AMP
part				1		115	

Dos bombas centrífugas

OBSERVACIONES:

HERRAMIENTAS:

No. de Registro: _____

NOMBRE DEL EQUIPO: Banco de caidas de presión No. DE SERIE: p5160/104

DEPARTAMENTO: Química SECCION: Ing. Química

ARCA: G. Cussonos MODELO: _____

ABRICANTE: Feedback, Inc. DIRECCION: Berkeley Heights, N.J. 07922

REPRESENTANTE: AJBAY DIRECCION: Tel. 310129

ORDEN DE COMPRA No.: _____ FECHA: _____ COSTO: \$16049 NUEVA: X USADA: _____

FECHA RECIBIDA: _____	ANCHO: _____	AREA OCUPADA: _____
FECHA INSTALADA: _____	LARGO: _____	PESO: _____
FECHA ARRANCADA: _____	ALTO: _____	CARGA TOTAL CONECTADA: _____ KW

TALLES TECNICOS: Mide la caída de presión en tubería de diferentes diámetros y rugosidades, en accesorios todos a diferentes flujos de agua. Tiene un tanque de almacenamiento de agua de 55 galones.

FABRICACION:	COJINETES:
	FAJAS:

REGISTRO DE MOTORES

ARCA	MODELO #	# SERIE	TIPO	HP	RPM	VOLTS	AMP
		P48L2EB7		1.5		220	

ACCESORIOS:

Bomba centrífuga

RESERVACIONES:	HERRAMIENTAS:
----------------	---------------

No. de Registro: _____

NOMBRE DEL EQUIPO: Banco de bomba centrífuga No. DE SERIE: P6100-159

DEPARTAMENTO: Química SECCION: Ingeniería Química

MARCA: Cussons Hydraulics MODELO: _____

ABRICANTE: G. Cussons DIRECCION: Berkeley Heights, N.J. 07922

REPRESENTANTE: AJBAY DIRECCION: Tel. 310129

ORDEN DE COMPRA No.: _____ FECHA: _____ COSTO: \$6,610 NUEVA: X USADA: _____

FECHA RECIBIDA: _____	ANCHO: _____	AREA OCUPADA: _____
FECHA INSTALADA: _____	LARGO: _____	PESO: _____
FECHA ARRANCADA: _____	ALTO: _____	CARGA TOTAL CONECTADA: _____ KW

TALLES TECNICOS: Es similar al banco de medidores, su estructura está sobre gradas. En este banco se mide la eficiencia de la bomba centrífuga, además obtener curvas de calibración.

CONSTRUCCION:

COJINETES:

FAJAS:

REGISTRO DE MOTORES

ACCESORIOS:

MARCA	MODELO #	# SERIE	TIPO	HP	RPM	VOLTS	AMP
part				1		115	

Dos bombas centrífugas

OBSERVACIONES:

HERRAMIENTAS:

No. de Registro: _____

NOMBRE DEL EQUIPO: Filtro de candela No. DE SERIE: 0114
 DEPARTAMENTO: QUIMICA SECCION: INGENIERIA QUIMICA
 MARCA: Mott PHP Filter MODELO: 501004 D
 FABRICANTE: Mott Metallurgical Corp. DIRECCION: Farmington, Conn., USA
 REPRESENTANTE: _____ DIRECCION: _____
 ORDEN DE COMPRA No.: _____ FECHA: _____ COSTO: \$4,195 NUEVA: X USADA: _____

FECHA RECIBIDA: _____	ANCHO: _____	AREA OCUPADA: _____
FECHA INSTALADA: _____	LARGO: _____	PESO: _____
FECHA ARRANCADA: _____	ALTO: _____	CARGA TOTAL CONECTADA: _____ KW

TALLES TECNICOS: Filtro de candela de acero inoxidable poroso, poros de 5 micrón, presión máxima de trabajo 200 PSI. El sistema tiene dos tanques de 55 galones .

FABRICACION:	COJINETES:
	FAJAS:

REGISTRO DE MOTORES								ACCESORIOS:
MARCA	MODELO #	# SERIE	TIPO	HP	RPM	VOLTS	AMP	
rr	LR-1375B			1	3450	220	3.06	Bomba centrífuga

REVISIONES:	HERRAMIENTAS:

No. de Registro: _____

NOMBRE DEL EQUIPO: Intercambiador de concha y tubos No. DE SERIE: _____

DEPARTAMENTO: _____ SECCION: _____

ARCA: Tecquipment MODELO: TD - 36A

ABRICANTE: Tecquipment Limited DIRECCION: Hooton St., Nottingham, England

REPRESENTANTE: Bimex, Ltd. DIRECCION: Tel. 312419

ORDEN DE COMPRA No.: _____ FECHA: _____ COSTO: \$4,349 NUEVA: X USADA: _____

FECHA RECIBIDA: _____	ANCHO: _____	AREA OCUPADA: _____
FECHA INSTALADA: _____	LARGO: _____	PESO: _____
FECHA ARRANCADA: _____	ALTO: _____	CARGA TOTAL CONECTADA: _____ KW

TALLES TECNICOS: Presión de operación es de 25 PSI, el vapor circula en los tubos. El flujo de agua se mide con un orificio.

CONSTRUCCION:

COJINETES:

FAJAS:

REGISTRO DE MOTORES

ACCESORIOS:

ARCA	MODELO #	# SERIE	TIPO	HP	RPM	VOLTS	AMP

RESERVACIONES:

HERRAMIENTAS:

No. de Registro: _____

NOMBRE DEL EQUIPO: Intercambiador de tubo concéntrico No. DE SERIE: _____
 DEPARTAMENTO: Química SECCION: Ingeniería Química
 ARCA: Tecquipment MODELO: TD - 36B
 FABRICANTE: Tecquipment Limited DIRECCION: Hooton St., Nottingham, England
 REPRESENTANTE: Bimex, Ltd. DIRECCION: Tel. 312419
 ORDEN DE COMPRA No.: _____ FECHA: _____ COSTO: \$4,269 NUEVA: X USADA: _____

FECHA RECIBIDA: _____	ANCHO: _____	AREA OCUPADA: _____
FECHA INSTALADA: _____	LARGO: _____	PESO: _____
FECHA ARRANCADA: _____	ALTO: _____	CARGA TOTAL CONECTADA: _____ KW

TALLES TECNICOS: Presión máxima de operación es de 25 PSI, el vapor circula en el tubo. El flujo de agua se mide con un orificio.

FABRICACION:	COJINETES:
	FAJAS:

REGISTRO DE MOTORES								ACCESORIOS:
ARCA	MODELO #	# SERIE	TIPO	HP	RPM	VOLTS	AMP	

RESERVACIONES:	HERRAMIENTAS:
----------------	---------------

No. de Registro: _____

NOMBRE DEL EQUIPO: Evaporador de simple efecto No. DE SERIE: _____
 DEPARTAMENTO: Química SECCION: Ing. Química
 ARCA: Corning MODELO: _____
 FABRICANTE: Corning Glass Works DIRECCION: P.O.Box 8013, N.Y., N.York
 REPRESENTANTE: Crisqui DIRECCION: Tels. 315288/324592
 ORDEN DE COMPRA No.: _____ FECHA: _____ COSTO: \$15,004 NUEVA: X USADA: _____

FECHA RECIBIDA: _____	ANCHO: _____	AREA OCUPADA: _____
FECHA INSTALADA: _____	LARGO: _____	PESO: _____
FECHA ARRANCADA: _____	ALTO: _____	CARGA TOTAL CONECTADA: _____ KW

TALLES TECNICOS: El evaporador consta de un balón principal, un intercambiador con serpentín, una columna empacada, condensadores y balones donde se almacena el producto final.

FABRICACION:	COJINETES:
	FAJAS:

REGISTRO DE MOTORES							
ARCA	MODELO #	# SERIE	TIPO	HP	RPM	VOLTS	AMP

ACCESORIOS:

OBSERVACIONES:

HERRAMIENTAS:

BIBLIOGRAFIA

- Aurora Pumps. Instruction manual: Operation turbine pump. Boiler Feed Unit. Illinois, USA.
- Armfield Technical Education Co. Ltd. Instruction Manual: Bubble cap rectification column. Hampshire, England.
- _____ ; RG 3625 Bubble cap rectification column. Hampshire, England.
- _____ ; Gas Absorption Column: Installation, Equipment Schedule, Theory and Experiments. Hampshire, England.
- Ayres, Gilbert H. Análisis Químico Cuantitativo. Madrid, España. 7a Ed. Ediciones del Castillo S.a. 1970, 740 pp.
- Baltimore Aircoil. FXT Cooling Towers. Maryland, USA.
- _____ ; FXT Cooling Towers: Operating and Maintenance Instructions. Maryland, USA.
- _____ ; FXT Cooling Towers: Rigging and assembly Instructions. Maryland, USA.
- Chem-Pro Equipment Corporation. Karr Column Counter Current and Fractional Liquid Extraction. New Jersey, USA.
- Chem-Pro Equipment Corporation. The Karr Reciprocating Extraction Column Operating Manual. New Jersey, USA.
- Cleaver & Brooks. Installation and Operations Instructions. Manual Water Conditioner. Wisconsin, USA
- _____ ; Lista ilustrada de repuestos para las Monitor. Calderas de vapor a presión. Series 100, 200 y 700. Wisconsin, USA
- _____ ; Manual de operación para las calderas Progress y Monitor. Wisconsin, USA.

Feedback Incorporated. Hydraulics Bench and Experiments.
New Jersey, USA.

G. Cussons Ltd. Instruction Manual: Calibration of Pressure Gauges. P6234. Manchester, England.

_____ ; Instruction manual: Cussons Hydraulics Bench Type P 6101-9. Manchester, England.

_____ ; Instruction Manual: Friction losses in pipes and fittings P 5160. Manchester, England.

_____ ; Educational Laboratory Equipment. Mechanics of fluids. Manchester, England.

Honeywell. Pressure Control Controllers. Minnesota, USA.

Ingersoll-Rand

Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología.
1982 Catálogo de Normas Centroamericanas ICAITI
1982. Guatemala, C.A. División de Normalización

_____ ; El uso eficiente de la energía eléctrica en la industria. 185 pp.
1984

_____ ; "Energigrama # 4: Vapor. Aislamiento de las tuberías de vapor descubiertas". Guatemala, C.A.

_____ ; "Energigrama # 1: Vapor. Gráfica de costo de vapor".
Guatemala, Centro América.

L'Equipment Industriel En Verres Spéciaux & Corning Process
Systems. Evaporador de simple efecto.
France.

_____ ; Evaporador Simple efecto. Unidad I. France.

Manrique, José A. Transferencia de Calor. México, Harla,
1976 S.A. de C.V. 199 pp.

Matley, Jay. Fluid Movers. Pumps, Compressors, Fans and Blowers. N.Y., USA. Mc Graw Hill Publications
Co.
373 pp.

Mc Cabe, Warren L.; Smith, Julian C. Unit Operations of

1976 Chemical Engineering, Tokyo, Japan. 3rd Ed.
Mc Graw Hill Kogakusha Ltd. 1028 pp.

Perry, John H. Chemical Engineers' Handbook. Tokyo, Japan
1963 4th Ed. Mc Graw Hill Book Company. 26-45 pp.

_____ ; Chilton, Cecil H. Chemical Engineers' Handbook.
Tokyo, Japan. 5th Ed. Mc Graw Hill Kogakusha
Ltd. 25-47 pp.

Tecquipment Limited. Advance Information. Heat Transfer
Bench TD 36. Nottingham, England.

_____ ; Installation and operating instructions. Heat
Transfer Bench, TD 36. Nottingham, England.

Timbie, William H. Elements of Electricity. USA. 4th Ed.
John Wiley & Sons, Inc. 631 pp.

Timmerhaus, Klaus D.; Peters, Max S. Plant Design and
Economies for Chemical Engineers. USA. 3th Ed.
Mc Graw Hill Book Company. 973 pp.

Treybal, Robert E. Mass Transfer Operations. USA. 3th Ed.
1980 Ed. Mc. Graw Hill Book Company. 784 pp.

W. W. Grainger Inc. Grainger's Catalog # 359 Spring 1981.
Illinois, USA.