

**ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA**



**OBTENCION DE ACIDO ACETICO POR FERMENTACION Y CONCENTRACION POR DESTILACION**

**PROYECTO DE GRADO  
Para Optar el Título de  
INGENIERO QUIMICA**

**FELICITAS TONG CHANG**

**PROMOCION 1954**

**LIMA - PERU  
1955**

A MIS QUERIDOS PADRES

Con cariño y gratitud

MI AGRADECIMIENTO

A mis Profesores de la Escuela;

en forma especial

al Ing° GERMAN PFLUKER,

Ing° JOAQUIN VARGAS F. y

al Ing° A. MASTROKALO,

por sus correcciones y sugerencias.

Señor

Director de la Escuela Nacional de Ingenieros

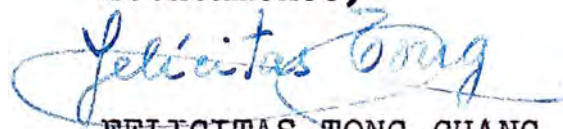
Presente

S.D.

La que suscribe, Felicitas Tong Chang, ex-alumna de la Escuela de su digna dirección, somete a su consideración la presente tesis de grado, para optar el título de Ingeniero Química.

Suplico a Ud. se sirva designar el Jurado respectivo ante el cual deberé sustentarla, a la vez que aprovecho la oportunidad para renovarle los sentimientos de mi mayor consideración y respeto.

Atentamente,

  
FELICITAS TONG CHANG

Lima, Marzo de 1955.

S U M A R I O

	<u>Págs.</u>
INTRODUCCION	7

I PARTE

1.- DESARROLLO HISTORICO DE LA INDUSTRIA	8-9
2.- ESTADISTICAS. MERCADO. CAPACIDAD OPTIMA DE PRODUCCION.	14
3.- MATERIA PRIMA. CONSIDERACIONES	17
4.- UBICACION DE LA PLANTA	19

II PARTE

✓ 1.- ACIDO ACETICO. PROPIEDADES. USOS	21
2.- METODOS GENERALES DE PRODUCCION	27
3.- CONCLUSIONES	31

III PARTE

1.- GENERALIDADES SOBRE FERMENTACION	33
2.- SOBRE LAS BACTERIAS ACETICAS	40
3.- MECANISMO DE LA FORMACION DE ACIDO ACETICO POR FERMENTACION.	43
4.- REQUISITOS GENERALES EN LA FERMENTACION DE ALCOHOL.	46

IV PARTE

ESTUDIO TECNICO DEL PROYECTO

1.- RESEÑA DE LAS OPERACIONES Y PROCESOS	52
2.- BALANCE DE MATERIAS	54
3.- GENERADOR. SU FUNCIONAMIENTO. INICIACION DEL TRABAJO.	58

V PARTE

CALCULO DE LA TORRE DE DESTILACION

1.- BALANCE DE MATERIAS	64
2.- CALCULO DEL NUMERO DE PLATOS. DIAMETRO Y ALTURA DE LA TORRE.	65
3.- CALCULO DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR	73
4.- RENDIMIENTO DE LA FABRICA. ANALISIS.	91
5.- MATERIALES DE CONSTRUCCION EN EL MANIPULEO DE ACIDO ACETICO.	94

VI PARTE

1.- ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO	98
2.- PLANTA DE VAPOR	109
3.- PLANTA DE AGUA	110
4.- ENERGIA NECESARIA	116
5.- TERRENO Y EDIFICIO	117

VII PARTE

ESTUDIO ECONOMICO DEL PROYECTO

1.- MATERIAS PRIMAS	119
2.- MANO DE OBRA Y SUPERVISION	120
3.- MAQUINARIAS Y EDIFICIOS	122
4.- GASTOS FIJOS - CAPITAL DE TRABAJO	130
CAPITAL DE INVERSION - UTILIDADES	

VIII PARTE

APENDICE

135

PROCESO Y EQUIPO PARA LA PRODUCCION DE  
ESTERES: ACETATO ETILICO, BUTILICO Y  
AMILICO. ESTADISTICAS. USOS.

BIBLIOGRAFIA

155

---

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

Sabemos que es condición indispensable que los Proyectos de Grado de nuestra especialidad sea el planteamiento de industrias esencialmente prácticas, posibles de ser realizadas en el momento y que solucionen económicamente una necesidad de nuestro país.

Consultadas las estadísticas necesarias, he decidido presentar el proyecto de una planta de ácido acético, obtenido por fermentación bacteriológica del alcohol, subproducto de los ingenios azucareros y que constituye una materia prima abundante en nuestro medio.

Así pues, este proyecto bastante sencillo como puede esperarse de un alumno recién egresado, pretende buscar la solución de suministrar al país un producto que de fabricarse en nuestro medio, nos libraría de la necesidad de importarlo y daría lugar a muchas otras industrias, ya necesarias en nuestro país.



I PARTE

RESEÑA HISTORICA

El ácido acético es el principio esencial del vinagre y en este líquido ha sido conocido desde los tiempos más antiguos; el vinagre se cita ya en el antiguo Testamento. Muchos pueblos de la antigüedad sabían que los zumos de frutas, como el de uvas, por ejemplo, se hacían por contacto prolongado con el aire, de tal naturaleza ácida, que era capaz de disolver varias piedras y metales; y de dar efervescencia con ciertas rocas.

Los alquimistas empleaban ya el vinagre, y Geber en el siglo VIII, enseña a purificarlo por destilación. Basilio Valentín, en el siglo XV, lo concentra por destilación fraccionada y dice que las primeras porciones destiladas son más débiles que las restantes; la obtención del vinagre concentrado por la acción del calor sobre el cardenillo era ya también conocida por él. Stahl, en 1723, concentraba el vinagre congelando el líquido ácido, separando la parte flúida del hielo y neutralizándola con potasa; evaporaba la disolución potásica y la destilaba con ácido sulfúrico. Este es el método que aún se emplea para la obtención del ácido acético; aunque los avances en la técnica de destilación, ha hecho que este método sea menos frecuente.

Lowitz fué el primero que demostró (1788) que el

ácido acético cristalizado puede obtenerse mediante repetidas destilaciones del ácido concentrado, separado por congelación.

La producción de ácido acético en la destilación seca de la madera, y de otras sustancias orgánicas, era conocida desde muy antiguo y los alquimistas la utilizaban; y después de la primera guerra mundial, la mayor parte del ácido acético producido, procedía de este método practicado y perfeccionado en Alemania.

Dada la gran importancia del ácido acético y la fuerte demanda en los últimos tiempos, se han descubierto métodos sintéticos que producen ácido acético en gran escala.

#### DESARROLLO HISTORICO DE LA INDUSTRIA DEL ACIDO ACETICO POR FERMENTACION

Hace miles de años que se fabrica el ácido acético por fermentación, en la forma de vinagre.

En la antigüedad, y también a comienzos de la Edad Media, el vinagre (principalmente de vino) no se producía industrialmente en instalaciones especiales, sino que se obtenían en casa, exponiendo el vino u otro líquido alcohólico a temperatura elevada en recipientes que permitían el acceso del aire, y abandonado el líquido a la acidificación.

Poco a poco comenzó a desarrollarse una industria

especial; así ya a fines del siglo XIV, el gremio de fabricantes de vinagre en Francia era muy floreciente.

En Alemania, los vinagres de cerveza y vino se obtenían exclusivamente por el procedimiento lento, por conservación del mosto en reposo.

Procedente de Holanda se introdujo el procedimiento llamado de Boerhaave, predecesor del procedimiento rápido de acetificación.

En el siglo XVIII aparece el vinagre de aguardientes, que al principio se obtenía igualmente por medio del procedimiento antiguo, pero más tarde se fabricó exclusivamente por medio del procedimiento rápido. La invención de éste data de los años 1815-1826. A José Sebastián Schützenbach puede atribuírse la prioridad de esta invención, que con el transcurso del tiempo ha llegado a ser de la mayor importancia para toda la industria alemana del vinagre, aunque otros profesionales como Wagemann (1832), J. Ham (1824), Leux y muchos otros han contribuído en mejorar este método.

Los conocimientos científicos sobre la esencia de la fermentación acética y sus condiciones, así de carácter biológico como de carácter químico, fueron vagos y oscuros hasta finalizar el siglo XVII. En los escritos de Boerhaave se encuentran ideas relativamente razonables sobre el vinagre; éste presumía ya la estrecha relación existente entre las flores de vinagre y la acetificación del vino y conocía exac-

tamente la influencia del aire en la misma. El Abate Rozier (1786) con la ayuda de una vejiga de cerdo llena de aire, encerrada herméticamente en una cuba donde se verificaba la fermentación acética, demostró que esta fermentación consume aire.

Lavoisier (1793) sentó por primera vez la teoría de que el oxígeno contenido en el aire es el agente activo de la acidificación del vino. Dobereiner emprendió en 1822 investigaciones cuantitativas de carácter puramente químico sobre la transformación por oxidación del alcohol en ácido acético, por medio del negro de platino, después que Davy en 1821 hubo descubierto la propiedad de este último de transformar el alcohol en ácido acético por fermentación.

Por lo que se refiere a la naturaleza microbiológica de la formación de vinagre, hasta principio del siglo XIX, los investigadores tenían ideas equivocadas. Fué en 1837, en que el botánico Kützing dió a conocer que la conversión del etanol contenido en los zumos de frutas a ácido acético era llevada a cabo por microorganismos vivos. A la célula viva, Kützing la llamó "Ulvina aceti"; con todo, transcurrió todavía un largo período antes de que esta nueva manera de interpretar la fermentación acética, como un fenómeno biológico, penetrara en el mundo científico.

Los científicos de aquel entonces no veían en la fermentación un proceso vital, sino que consideraban la for-

mación del ácido acético a partir del alcohol, como una consecuencia de la descomposición del plasma de la materia orgánica muerta, que debía actuar como catalizador, a la manera del negro de platino, en la formación del ácido acético. Fueron necesarias las demostraciones experimentales de Pasteur (París 1868) para decidir a favor de los biólogos la lucha entablada entre éstos y los químicos y hacer triunfar la teoría vitalística.

Pasteur demostró que en los líquidos pasteurizados no se produce fermentación acética alguna, aún en presencia del aire, y materias albuminoideas, y que esta fermentación comienza tan pronto como se siembre el líquido estéril con vestigios de micoderma aceti.

Estudios posteriores de otros biólogos, Hansen, Brow y Hemberg y otros, descubrieron nuevas especies de bacterias que transformaban el etanol a ácido acético. Más tarde se clasificaron y se reunieron bajo el nombre general de Aceto-Bacter.

Hasta la actualidad se sigue estudiando intensivamente la morfología, biología y sistemática de las bacterias acéticas y hay muchos laboratorios que se dedican a obtener los cultivos puros.

En el año 1903, E. Buchner y J. Meisenheuner descubrieron la alcoholidasa de las bacterias del vinagre, la cual permanece activa en las células de las bacterias muer-

tas y pueden oxidar pequeñas cantidades de alcohol.

Otros investigadores Wieland y A. Bertho (1928) han logrado liberar la enzima de las bacterias celulares sólidas mediante toluol, cloroformo, éster acético, sal común, así como por congelación en aire líquido.

A la vez que se avanzaba en estas investigaciones iban evolucionando las formas de los acetificadores y métodos de elaboración, procurando un mejor control de la fermentación. Así, de los simples toneles de madera y los métodos lentos de fermentación, se pasó a la idea de la fermentación rápida, con material de relleno dentro de los acetificadores, regulación de alimentación, recirculación de la mezcla. Después de muchas innovaciones, que han tomado años, se ha llegado actualmente a un control automático y perfecto de la fermentación acética.

Existen muchos métodos patentados, pero entre ellos es más eficiente el método de Frings, que se caracteriza por el empleo de generadores de gran capacidad.

Además, se ha evolucionado en cuanto al material de construcción. Ahora se construye equipo de cerámica, o de revestimientos de jebe resistentes al ácido.

2.- ESTADISTICAS

CUADRO DE LA CANTIDAD DE ACIDO ACETICO Y DE PRODUCTOS QUE PODRIAN OBTENERSE A PARTIR DE EL, QUE SE HAN IMPORTADO EN LOS ULTIMOS AÑOS.

ACIDO ACETICO

	<u>1948</u>	<u>1949</u>	<u>1950</u>	<u>1951</u>	<u>1952</u>	<u>Promedio</u>
K.B	116,213	81,766	37,786	124,894	21,835	76,498
Valor	\$.302,997	\$.477,720	\$.182,924	\$.517,856	\$.138,437	

ACETONA

K.B	26,561	53,076	16,503	97,849	52,433	49,200
Valor	41,347	275,451	61,287	435,798	218,288	

ACETATO DE ETILO

K.B.	434	1,606	207	4,250	2,456	1,786
Valor	1,330	14,570	793	19,257	13,760	

ACETATO DE BUTILO

K.B.	62,711	66,579	22,796	107,072	21,978	56,200
Valor	337,455	569,834	123,023	786,144	140,353	

ACETATO DE AMILO

K.B	3,343	2,308	448	732	2,224	1,812
Valor	13,697	26,327	3,923	6,798	24,484	

ACETATO DE ISOPROPILO

	<u>1948</u>	<u>1949</u>	<u>1950</u>	<u>1951</u>	<u>1952</u>	<u>Promedio</u>
K.B	14,858	3,714	20,768	15,699	25	4,000
Valor	\$. 71,114	\$. 32,449	\$. 84,363	\$. 83,042	\$. 187	

ACETATO DE PLOMO

K.B	1,598	2,107	4,885	26,248	3,264
Valor	6,558	33,320	40,766	230,534	31,730

ACETATO DE POTASIO

K.B	92	224	3	233	473
Valor	464	2,297	78	1,452	518

ACETATO DE SODIO

K.B	454	1,414	1,454	7,073	1,066
Valor	1,662	11,820	7,435	46,638	23,985

ACETATOS NO DENOMINADOS

K.B	5,278	2,487	3,440	8,736	7,549
Valor	25,262	40,701	61,029	107,047	150,327

-----



### CAPACIDAD OPTIMA DE PRODUCCION

De las estadísticas (Anuario del Comercio Exterior) que reproducimos en la tabla anterior, podemos considerar un futuro consumo de 100 tons. de ácido acético para ser usado como tal para el tratamiento de fibras.

Una vez instalada la fábrica de ácido acético en el país será posible su uso en la fabricación de otros derivados, principalmente acetona y los ésteres: acetato de etilo, butilo, amilo é isopropilo, que como podemos ver en el cuadro anterior, se importan en apreciables cantidades. Es por ello que estimaremos unas 100 tons. de ácido acético para ser usado como materia prima en estas industrias. Y probablemente con el tiempo esta producción sea corta; pues, de producirse ésteres en el país, se incrementaría las industrias de las lacas y barnices, con el consiguiente mayor consumo de los acetatos.

Además, según datos proporcionados por la Dirección del Estanco de Alcoholes, pasan de 20,000 lts. de vinagre artificial que se produce y consume en el país a partir del M. de Orleans. Esto implicaría una producción adicional de 2 tons. anuales de ácido acético al 98%.

Por todo esto, podemos estimar que la capacidad óptima de producción es de 200 tons. anuales.

MERCADOS.- El principal centro de consumo es Lima, donde se utiliza el ácido acético en numerosas fábricas tex-

tiles. Además, las fábricas de lacas y barnices están en su mayoría ubicadas en Lima.

Otro centro de consumo es el Cusco y Huancayo, donde se consumen apreciables cantidades de ácido acético en las fábricas de lana.

Además, al crearse la industria de ácido acético, ésteres y acetona en el país se crearían nuevos mercados en el norte y sur del país, donde la industria está tomando incremento en estos últimos tiempos. Además, se podría exportar al exterior, a Bolivia por ejemplo, que también hasta el momento se ve necesitado de importar.

### 3.- LA MATERIA PRIMA: ALCOHOL DE MELAZA. CONSIDERACIONES

La materia prima de nuestra industria es el alcohol que resulta de la fermentación de melazas, sub-producto de los ingenios azucareros, y base de una industria alcohólica en gran escala en nuestro país.

La producción de melaza en el Perú es alrededor de 100,000 T.M. anuales, que si consideramos en un 50% su contenido en azúcares y que 100 kilos de éstos azúcares dan 64 litros de alcohol absoluto, tendríamos teóricamente 32'000,000 de litros. Estimando un rendimiento de 90% en la fermentación del mosto y 95% en la destilación en el alambique se obtendrían finalmente 27'200,000 litros de alcohol absoluto. Pero debido a las limitaciones del mercado, no se

han beneficiado todas las melazas. Sólo se ha llegado a producir de 12 a 19 millones de litros de alcohol. Las melazas sobrantes se han tenido que exportar (8,000 tons. al año, últimamente), dar como alimento al ganado, o en último caso, botarlas al campo.

El mercado no puede absorber la cantidad de alcohol que potencialmente se podría producir, debido a que en nuestro país, el alcohol tiene usos limitados. La mayor parte del alcohol producido (alrededor de 80%) se destina al consumo de bebidas alcohólicas, y el resto como ron de quemar; sólo una pequeña cantidad, que no llega a 25,000 litros, es empleada en ciertas industrias tales como perfumería, usos farmacéuticos, curtiembres, bebidas gaseosas, etc.

Además hay que considerar que las melazas no son la única fuente de alcohol. Existen algunos productores grandes y más de 1,500 pequeños alambiques, diseminados por todo el país, especialmente sierra y montaña, que obtienen alcohol de bajo grado (50° Gay Lussac) utilizando como materia prima los jugos directos de la caña. Esta producción está casi íntegramente destinada al consumo de bebidas alcohólicas. En los últimos 5 años se ha elevado a la cantidad de 6 millones de litros absolutos.

Se ha creado un grave problema en estos numerosos alambiques, ya que la poca capacidad del mercado y la producción de alcohol de melaza en gran escala, ha originado una

ruinosa competencia entre los pequeños productores.

Esta competencia se ha traducido en una baja de precios en los últimos años (el litro de alcohol de 95% ha bajado de \$ 2.80 á \$ 2.00).

Urge solucionar este problema que afecta a muchos pequeños industriales y aún a los mismos ingenios azucareros, no aumentando la cantidad que se consume como bebidas alcohólicas que ya es demasiado alta, sino buscando nuevas aplicaciones industriales del alcohol; así, podría utilizarse como materia prima en la fabricación de ácido acético, acetona, anhídrido acético, acetatos, y otras industrias derivadas. El alcohol para estos casos estaría liberado de impuestos.

Por tal razón, nos hemos decidido a presentar este proyecto de grado sobre la fabricación de ácido acético. Además de ampliar el mercado del alcohol, tendremos en el ácido acético un producto que es necesarísimo en muchas industrias y que hasta el momento nos vemos en la necesidad de importar.

#### 4.- UBICACION DE LA PLANTA

Actualmente en nuestro país, el ácido acético es empleado casi en su totalidad en las fábricas de textiles, las cuales están localizadas principalmente en Lima, Cusco y el Centro.

Prevedemos en este proyecto, la utilización del ácido acético en la fabricación de ésteres y acetona, utilizados en las industrias de lacas y barnices y éstas últimas están también ubicadas en Lima.

El alcohol, materia prima en este proceso, lo compraríamos a los grandes ingenios azucareros, Casa Grande y Paramonga.

No hay diferencia apreciable entre el volumen de la materia prima y el del producto.

Todo esto nos indica que el lugar más apropiado para la instalación de la planta, es Lima, donde además de poder contar con la ayuda técnica necesaria, es el lugar más conveniente, por las facilidades de transporte, para la distribución del producto a los principales centros de consumo.

---

## II PARTE

### PROPIEDADES DEL ACIDO ACETICO

El ácido acético es llamado también ácido etánico o etanoico. Responde a la fórmula  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , pm. 60.05.

Es un líquido claro, incoloro, de olor ácido picante y que aún estando muy diluido tiene sabor ácido; es volátil, cristaliza a baja temperatura y es soluble en cualquier proporción en agua, espíritu de vino, éter, cloroformo, glicerina y aceites etéreos, pero no en el sulfuro de carbono.

El ácido puro se llama ácido acético glacial, debido a la apariencia de hielo de sus cristales.

El ácido acético glacial es extremadamente irritante, causa ampollas en la piel, si no se lava rápidamente.

Parece impedir las fermentaciones aeróbicas y anaeróbicas en las comidas, por lo cual se le usa como preservativo en ensaladas, curtidos, pescado, etc.

### PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

P.F.:	16.6°C	$d_4^{20} = 1.0492$	Viscosidad a:	
			18°C:	0.013 poises
P.E.:	118.1°C	$n_D^{20} = 1.37182$	41°C:	0.0100
			100°C:	0.0043

Temp. crítica: 321.6°C. Calor de combustión formando  $\text{CO}_2$  y agua.

Pres. " : 57.2 atm. 209.4 cal/mol gr. a 20°C.

Temperatura de inflamación: 107°F.

Calor específico: 0.472 cal/gr. a 20°C.

1.50            118- 140°C.

1.27            140- 180°C.

Calor de Vaporización: 96.8 cal/gr. 118.3°C.

En cálculos de destilación, pueden tomarse 100.5 gr. de ácido acético, como el peso que tiene un calor de vaporización de 18 grs. de agua.

Cuando el ácido acético se mezcla con agua, su peso específico no se rebaja en proporción con el grado de dilución, sino que sube más bien, hasta que la cantidad de ácido llega a 80% de ácido acético, disminuyendo después al hacer nuevas adiciones de agua.

De la tabla de Oudemann sacamos los pesos específicos a 20°C de soluciones de ácido acético:

% CH <sub>3</sub> COOH	p.e.	%	p.e.
0	0.9983	60	1.0642
10	1.0126	70	1.0686
20	1.0261	80	1.0699
30	1.0383	90	1.0660
40	1.0488	100	1.0497
50	1.0575		

TABLA PRESIONES DE VAPOR A VARIAS TEMPERATURAS

Temp. °C	Pres.vapor mm.Hg.	Temp.	Pres.vapor	Temp.	Pres.vapor
0	3.5	60	88.3	110	582.0
10	6.4	70	137.0	120	794.0
20	11.8	80	202.3	130	1067.0
30	20.1	90	292.7	140	1404.0
40	34.2	100	417.0	150	1847.0
50	56.3				

TABLA DE EQUILIBRIO LIQUIDO. VAPOR DE SOLUC.DE ACETICO Y AGUA  
a 760 mm.

<u>Moles % de Acetic A.</u>			<u>Moles % de A.Acético</u>		
Líquido	Vapor	°C	Líquido	Vapor	°C.
0	0	100	60	47	105.8
5	3.7	100.3	70	57.5	107.5
10	7.0	100.6	80	69.8	110.1
20	13.6	101.3	90	83.3	113.8
30	20.5	102.1	95	89.0	115.4
40	28.4	103.2	100	100.0	118.1
50	37.4	104.4			



## PROPIEDADES QUIMICAS

El ácido acético es un ácido monobásico, moderadamente débil,  $K_a = 1.75 \times 10^{-5}$  y forma sales con muchos metales (acetato de sodio, acetato de calcio, de potasio, de plomo, etc.). Algunos metales como el plomo, forma acetatos básicos.

Las mezclas de ácido acético y agua son en general altamente corrosivas. Los metales como el aluminio y el acero inoxidable son bastantes resistentes al ácido, por lo que se les recomiendan como materiales de construcción en la fabricación del ácido, y en los utensilios de cocina.

El ácido puro es muy pobre conductor de la electricidad; pero, con pequeñas cantidades de ácido sulfúrico, pasa la corriente, descomponiendo el ácido acético en monóxido de carbono, dióxido de carbono y oxígeno. La electrólisis de soluciones acuosas de acetatos produce etano, dióxido de carbono y etileno en el ánodo.

El ácido acético arde con una llama azul, produciéndose dióxido de carbono y vapor de agua.

El ácido sulfúrico concentrado y caliente, carboniza el ácido, produciendo también dióxido de carbono y dióxido de azufre. El cloro, en presencia de la luz solar, forma los ácidos cloro-acéticos. A altas temperaturas y en presencia de catalizadores, el ácido forma el anhídrido acético, con un rendimiento de 90%. Para ello, es necesario el acetileno,

que en presencia de un catalizador de mercurio forma acetato de etilideno, el posible intermediario en la manufactura de anhídrido acético.

El tratamiento del ácido acético con cloruro de benzoilo produce el cloruro de acetilo, con un rendimiento de 85%. Con el amoníaco, y bajo condiciones controladas, el ácido acético forma la acetamida.

### APLICACIONES DEL ACIDO ACETICO

El ácido acético, en el campo de la química orgánica, ocupa la misma posición que el ácido sulfúrico en la industria química pesada.

Se usa en enormes cantidades en la manufactura del acetato de celulosa, plásticos del acetato, del anhídrido acético, que forman en la actualidad enormes industrias.

También se usa en gran escala para la preparación de los ésteres solventes, de gran aplicación en la industria de lacas y barnices; los acetatos metálicos, que tienen importancia como pigmentos (a. de plomo), insecticidas (verde de París), como materia prima para otros compuestos (acetato de calcio y acetato de sodio), etc., en productos farmacéuticos diversos, (ácido acetilsalicílico o aspirina), en la fabricación de acetamida, en obtención de colorantes sintéticos.

El ácido acético es un solvente excelente; muchas

reacciones orgánicas de interés comercial se producen en un medio de ácido acético que sólo actúa como solvente. Grandes cantidades de ácido acético se usan para coagular el látex del caucho natural; también se le usa (como acelerador) en fotografía; como un ácido general en la industria de la química orgánica; como mordiente en la industria textil, así como en la preparación de aprestos e impregnaciones para la disolución de colorantes básicos para fines de tintorería y estampado, y para impedir formación de lacas en los colores de estampado; como una fuente del grupo acetilo en numerosos derivados orgánicos.

En nuestro medio, el ácido acético se utiliza principalmente en la industria textil, sobre todo las que trabajan las fibras de lana, se emplea cierta proporción para coagular el caucho de nuestra selva, y también en la fabricación de vinagre doméstico, al no abastecer el vinagre de vino.

Al producirse ácido acético en nuestro país, en escala industrial, nos permitiría fabricar los ésteres que actualmente se importan como solventes para las industrias de lacas y barnices, tales como el acetato de etilo, de butilo y de amilo d y de isopropilo. Además, por el procedimiento del acetato de calcio, podríamos obtener acetona.

Aún no podemos pensar en producir acetato de celulosa, ni anhídrido acético, pues está probado que el mejor método es el sintético, que demanda gran escala de producción y grandes capitales, además de técnicas avanzadas.

## 2.- METODOS DE MANUFACTURA DEL ACIDO ACETICO

Los numerosos métodos de manufactura del ácido acético pueden ser divididos en cuatro grupos:

- 1) Fermentación de alcohol
- 2) Destilación de madera
- 3) Métodos sintéticos
- 4) Métodos misceláneos

Pasaremos a describir en forma general y brevemente cada uno de estos métodos.

1) Fermentación de alcohol.- Es el procedimiento que emplea como materia prima una solución diluida de alcohol de fermentación destilada, la cual por acción enzimática de un grupo de bacterias, Acetobacters, fermenta y oxida, dando lugar a una solución diluida de ácido acético. A esta solución diluida se llama vinagre. Si se quiere obtener el ácido acético concentrado, pasamos el vinagre a una destilación fraccionada.

La fermentación se lleva a cabo en los acetificadores que varían en forma y tamaño y dispositivos de control según los fabricantes. Para producción en gran escala se prefieren los generadores de grandes dimensiones.

2) Destilación de madera.- Por muchísimos años ha sido la fuente principal de ácido acético, que destila como componente del ácido piroleñoso, juntamente con el metanol, alquitrán, aceites y otros. Se separa por decantación el

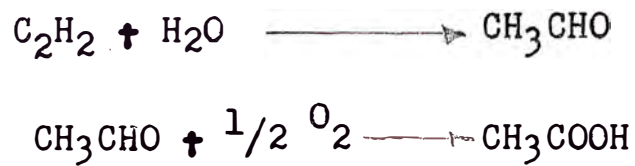
alquitrán y el líquido claro pasa a la separación de sus componentes. Antes, se separaba el ácido acético en la forma de acetato de calcio o cal gris, tratando el líquido con lechada de cal. Este acetato de calcio se separa, se seca y pasa a una descomposición con ácido sulfúrico, seguida luego de destilación para obtener un ácido bruto de 80%, que pasa a una segunda destilación para su refinación. Este método está ya desapareciendo, pues el gran consumo de vapor, ácido sulfúrico y manipuleo del acetato de calcio, lo hacen anti-económico.

Actualmente, el líquido piroleñoso, sin previa concentración, pasa a una destilación fraccionada donde se separa primero el metanol, y la mezcla de ácido acético y agua restante, pasa a otra destilación. Existen diferentes métodos para esta separación por destilación, la mayoría, empleando para la separación de agua y ácido acético, el proceso de destilación azeotrópica con un tercer componente.

Los equipos para esta separación son muy costosos y son justificables en industrias grandes.

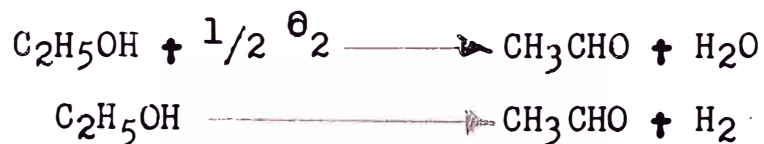
3) Métodos sintéticos.- La mayor parte de la producción mundial de ácido acético procede de estos métodos, con equipos especialmente diseñados para una producción en gran escala.

Generalmente se obtiene a partir del acetileno según las reacciones:



Las reacciones se llevan a cabo en presencia de catalizadores y presiones altas. Las temperaturas son bajas (70 a 55°C). La primera reacción se lleva a cabo en tanques de Duriron en presencia de sulfato de mercurio y ácido sulfúrico. El aldehído producido es separado en torres de lavado y se oxida en tanques de material especial con presiones de 70 lbs/pulg<sup>2</sup>, obteniéndose ácido acético de 94%, que pasa a refinación en caso de querer obtenerse ácido acético glacial.

El acetaldehído puede producirse también de alcohol etílico, por las siguientes reacciones que ocurren simultáneamente:



Las reacciones son exotérmicas y se producen a 550-570°C, en presencia de gasa de plata como catalizador. El rendimiento es de 85-95%.

El acetaldehído pasa a oxidación para producir el ácido acético.

Estos métodos sintéticos, han sido inventados y perfeccionados en EE.UU., debido a la gran demanda de ácido

acético para la fabricación de anhídrido acético, ambas importantísimas materias primas en la industria gigante de acetato de celulosa.

La producción mínima que justifica la instalación de estas costosas plantas es de 10 tons. diarias.

4) Métodos misceláneos.- Existen numerosos métodos patentados para producir ácido acético. Entre ellos tenemos:

La oxidación de los hidrocarburos de bajo p.m., propano y butano, producen acetaldehído, formaldehído, metanol, acetona, y otros productos. El acetaldehído es oxidado a ácido acético. Se ha desarrollado un método de alta velocidad de oxidación de gasolina, sin catalizador y a 625-700°F.

Por hidrólisis de la madera, con ácido sulfúrico al 3% y 0.2 a 0.4% de sulfato de aluminio, rindiendo 12-15% de ácido acético y 6-8% de ácido fórmico.

Oxidación del alcohol por aire, en una solución que contiene acetato de Cobalto y trazas de acetaldehído como catalizador.

También puede oxidarse la acetona con aire y a 825°F.

El tratamiento del acetileno con metanol, en la presencia de hidróxido de potasio y a 15 atmósferas de presión produce éter metil vinílico, el cual puede ser hidrolizado en ácido sulfúrico diluido para producir metanol y acetal-

dehido. La oxidación de este acetaldehido nos daría el ácido.

Se puede producir ácido acético por tratamiento del metanol con monóxido de carbono, en presencia de carbón activado y un óxido metálico como catalizadores.

El proceso "Synthine" produce ácido acético y un número de otros cuerpos orgánicos, como subproductos. Este proceso produce combustible para motores a partir de carbón de hulla o gas natural y produce además compuestos orgánicos oxigenados, incluyendo ácido acético, acetaldehido, acetona y los alcoholes metílico, etílico, propílico y butílico, en proporciones que varían grandemente con el catalizador y las condiciones. En E.U. se espera mucho de este último procedimiento sobre todo si se lograra concentrar económicamente la solución diluida (2.5%) producida de este modo, se aumentaría la producción de ácido acético, y su precio bajaría apreciablemente.

Como podemos apreciar todos estos métodos son sintéticos y se eligen según las condiciones del lugar donde se instala la fábrica.

### 3.- CONCLUSION

Descartados los métodos sintéticos, pues el consumo actual no los justifica y ser enorme el capital necesario, elegimos para nuestro proyecto, el método de la fermentación,



que actualmente cuenta con equipos especialmente diseñados y con sistemas de control automático; además de ser el más recomendable por no ser necesario una gran inversión de capital, y parte del equipo puede ser construido en el país, es el único método que podríamos utilizar económicamente, para una producción diaria menor de 10 tons. diarias.

### III PARTE

#### GENERALIDADES SOBRE FERMENTACION.- MICROBIOS DE LA FERMENTACION. FERMENTOS.

Ya que la fermentación producida por ciertos microorganismos vivos, es base de la industria que tratamos, es conveniente aclarar ciertos conceptos.

FERMENTACION.- En un amplio sentido puede definirse como un proceso en el que se realizan cambios químicos en una sustancia orgánica (hidrato de carbono, proteína, grasa, principalmente) por la acción de catalizadores bioquímicos conocidos como enzimas, o mejor dicho, fermentos, que son elaborados por tipos específicos de microbios.

MICROBIOS.- Incluyen a todos los tipos de pequeños seres vivos, tales como protozoos, espiroquetas y diminutos gusanos parásitos, así como los tipos inferiores de hongos que son las llamadas levaduras, y organismos análogos a las levaduras, el grupo algo indefinido de los mohos y el grupo muy extendido y numeroso de las bacterias.

En general, se puede decir que son microorganismos afines a los grupos inferiores de la vida vegetal.

MICROBIOS DE LA FERMENTACION.- Los microbios o agentes de la fermentación son vegetales inferiores, organismos monocelulares sin clorofila. Incluyen a tres grupos importan-

tes:

- a) Levaduras: causantes de la fermentación del alcohol, glicerina y grasas.
- b) Mohos: en la fermentación cítrica, ácido láctico, glucónico, fumárico, etc.
- c) Bacterias.— En la fermentación acética, acetona-butanol, acetona-etanol, ácido láctico, y otras fermentaciones, de interés industrial.

Estos microorganismos son incapaces de fabricar su propio alimento por el proceso corriente de foto-síntesis, ya que carecen de clorofila. Son hongos del tronco de las Thallophytas.

Estos microorganismos se diferencian grandemente entre sí, en cuanto a morfología, tamaño, reacción con el oxígeno, medio de reproducción y sobre todo, en el modo de actuar en los sustratos orgánicos. Pero todos ellos son incolores, se desarrollan más activamente en la oscuridad, o con luz difusa y las enzimas o fermentos que producen catalizan específicamente las reacciones que les son propias.

## FERMENTOS

Son sustancias producidas por células vivas, que obran catalíticamente, sin que su acción esté propiamente ligada al proceso vital. Así, pues, sin que ellas sufran variación alguna, ponen en juego reacciones químicas que sin su

acción se desarrollarían también, pero mucho más lentamente. Además actúan específicamente es decir, que sólo atacan sustancias de determinada composición.

Decimos que los fermentos son catalizadores y catalizadores positivos pues aceleran las reacciones químicas. Pero también los microbios producen los antifermentos que retardan las reacciones y que podríamos llamarlos catalizadores negativos.

Los fermentos como catalizadores que son, no ocasionan reacciones que sin su acción se desarrollen cualitativamente de otra manera, o que no pueden verificarse en modo alguno, ya que la cantidad de energía que aporta a un sistema de reacción es muy pequeña. Sólo provoca la aceleración de una reacción que marcha por sí misma.

Como biocatalizadores, se distinguen los fermentos de los catalizadores inorgánicos por su especificidad. Así, los ácidos catalizan reacciones hidrolíticas con independencia tanto de la naturaleza del sustrato como de la clase de enlaces rotos por la hidrólisis; aceleran lo mismo la descomposición hidrolítica de tres clases de cuerpos importantes fisiológicamente: hidratos de carbono, grasas y proteínas. Muy distintamente se comportan los fermentos; sus efectos son rigurosamente específicos, pues fermentos que aceleran las transformaciones de los hidratos de carbono no ejercen acción alguna sobre las proteínas y las grasas, etc. Pero

también aparecen grandes diferencias específicas y en parte sorprendentes dentro de los distintos grupos de fermentos.

Así por ejemplo, la transformación de cada término de la serie de hidratos de carbono exige la cooperación de un fermento especial. El almidón es hidrolizado tan sólo por la amilasa, la maltosa tan sólo por maltasa y el alcohol, para ser convertido a ácido acético, tan sólo por la alcohol-oxidasa, etc. Y es especialmente significativo el hecho de que diferencias puramente estereoquímicas basten para sustraer las sustancias correspondientes a la acción de los fermentos.

No puede dudarse que entre el fermento y el sustrato existe una afinidad específica condicionada por la estructura de ambos cuerpos. Y si existe esa afinidad específica entre el fermento y el sustrato, ello no puede significar otra cosa que el fermento y el sustrato se combinan uno con otro, se forma una adición entre ellos. El complejo que resulta de la adición se transforma entonces dando origen a los correspondientes productos de descomposición muchos más rápidamente que el sustrato sólo. La hipótesis de reacciones intermedias como base de las acciones fermentativas está también de acuerdo con la cinética de las reacciones de fermentación investigadas hasta ahora con más detenimiento.

Es característico para las reacciones que se desenvuelven catalíticamente, y por lo tanto también para las reacciones de fermentación, que una cantidad insignificante de

catalizador pueda producir la transformación de una cantidad enorme de substrato.

La falta de una relación de equivalencia estequiométrica entre la cantidad de fermento empleada y la de substrato transformado es debido al hecho de que el fermento es constantemente regenerado por los productos intermedios y teóricamente una cantidad de fermento dada debiera producir la transformación de una cantidad ilimitada de substrato. Esto, sin embargo, no es más que un caso ideal. En realidad la reacción de fermentación llega al estado de reposo antes que se haya transformado toda la cantidad de substrato, debido, ya a la alteración del fermento bajo la influencia de los productos de la reacción que se han formado, ó a su regeneración incompleta por los productos intermedios.

En nuestra reacción biológica de oxidación, los fermentos (oxidadas) se consumen, porque durante el transporte de oxígeno se transforman con más o menos rapidez en óxidos estables é ineficaces para la absorción del oxígeno libre.

### NATURALEZA Y PROPIEDADES DE LOS FERMENTOS

Según todas las apariencias, los fermentos son derivados más o menos próximos o remotos, de los albuminoideos, que no se pueden separar de los hidratos de carbono con que se encuentran mezclados.

Los fermentos son coloides liófilos, esto es, sus-

tancias de moléculas de constitución compleja que muestran una cierta afinidad con el disolvente. La mayor parte de los fermentos son solubles en el agua, pero no forma soluciones reales sino aparentes.

La propiedad más importante de los fermentos, y a la cual debe su constitución coloidal, es su capacidad de absorber en las partículas coloidales sustancias que se encuentran en disolución. Por la adsorción de aniones, pueden cargarse negativamente y por la de cationes positivamente con respecto al disolvente. Y se admite que la facultad de los fermentos antes mencionada de formar productos intermedios con los substratos correspondientes se facilita por la adsorción.

Los fermentos como otros coloides, son precipitables de sus soluciones por disolventes orgánicos solubles en agua (alcohol, acetona).

Es característica de los fermentos, ser termolábiles y poder ser destruídos a temperaturas relativamente bajas. Todos los fermentos pierden su actividad por la ebullición de su solución acuosa; para muchos fermentos se verifica ya esta inactividad a 60-70°. La sensibilidad al calor de los fermentos se manifiesta sólo en soluciones acuosas. En estado seco soportan los fermentos temperaturas más elevadas (120-150°C) sin perjuicio de consideración.

Para el conocimiento de las acciones fermentativas es de gran importancia la influencia que sufren los fermentos

tos por los agentes químicos, refiriéndonos a la acción de éstos en cuanto al deterioro o completa destrucción de los fermentos. Las sustancias que afectan a los fermentos es muy larga, y además depende de la naturaleza de cada fermento.

Para una serie de fermentos de los mejores investigados, la concentración óptima de los iones de hidrógeno con la cual el fermento manifiesta su máxima eficacia oscila entre  $10^{-2}$  y  $2 \times 10^{-9}$  aproximadamente, es decir entre una reacción fuertemente ácida (pepsinasa) y otra francamente alcalina (triptasa).

Las regularidades que son características para la cinética de las reacciones catalíticas han podido también ser comprobadas con toda seguridad en algunas acciones fermentativas.

Se han obtenido las siguientes leyes:

1.- Con una cantidad constante de catalizador, la velocidad de reacción es proporcional a la concentración del substrato que se transforma.

2.- Para una concentración constante del substrato, la velocidad de reacción es proporcional a la cantidad de catalizador.

Fermento que se emplea en la oxidación del alcohol a ácido acético.- Es el fermento llamado alcoholoxidasas, Al tratar las bacterias acéticas muertas en acetona no pierden la facultad de oxidar el alcohol. La alcoholoxidasas es



inseparable del cuerpo de las bacterias, se encuentra también en el cuerpo de los animales. Pertenece al subgrupo de las oxidasas, del grupo de fermentos respiratorios. Se ha llegado a liberar este fermento de las bacterias celulares sólidas, mediante toluol, cloroformo, éster acético, sal común, así como por congelación en aire líquido.

SUBSTRATOS.- Son las sustancias sobre las cuales actúan los microorganismos. Tienen doble papel:

1o. Como alimento de los microorganismos;

2o. Como materiales que se transformarán por la acción de los fermentos producidos por las bacterias.

En un proceso industrial de fermentación no sólo hay que tener en cuenta la inoculación de un sustrato orgánico con el que los microbios puedan alimentarse, sino que necesita el establecimiento de una serie de relaciones bioquímicas entre el sustrato y los microorganismos que puedan descomponerlo en un sentido definido, en condiciones de trabajo adecuadas.

El sustrato tiene que ser abundante, barato y de energía potencial alta; todos estos requisitos tiene el medio alcohólico que constituye el sustrato de la fermentación acética.

### SOBRE LAS BACTERIAS ACETICAS

Son todas aquellas que pertenecen al grupo de las Acetobacter, que producen la alcoholoxidasa el fermento que

cataliza la transformación del acohol a ácido acético.

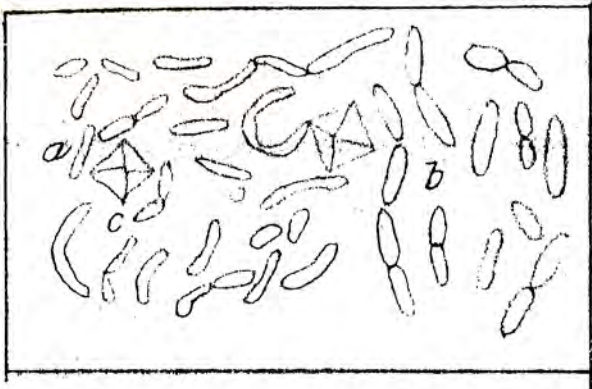
Además oxidan alcoholes de elevado peso molecular, azúcares, ácidos grasos, etc.

Los Acetobácter descubiertas y descritas hasta ahora son:

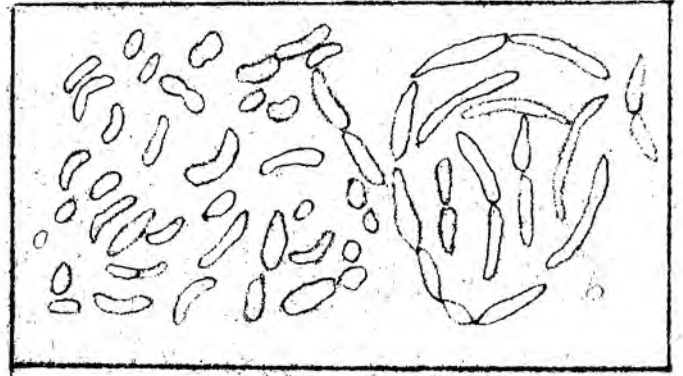
Acetobacter aceti .	A. plicatum .
" pasteurianum .	A. acetigemin
" kuetzingianum .	A. oxydans .
" zeidlereri .	A. industrium .
" Acetosum .	A. rancens .
" xylinum .	A. melanogenum .
" hoshigaki .	A. suboxidans .
" Ascendens .	Bact. schuetzenbachu .
Bact. xylinium .	" xylinoides
" orleaneuse .	" Vini acetati
" curvum .	

Las comercialmente importantes para nuestro proceso rápido de acetificación son las siguientes: Bacterium curvum, Bact. orleanense, Bact. xylium y schutzenbachi.

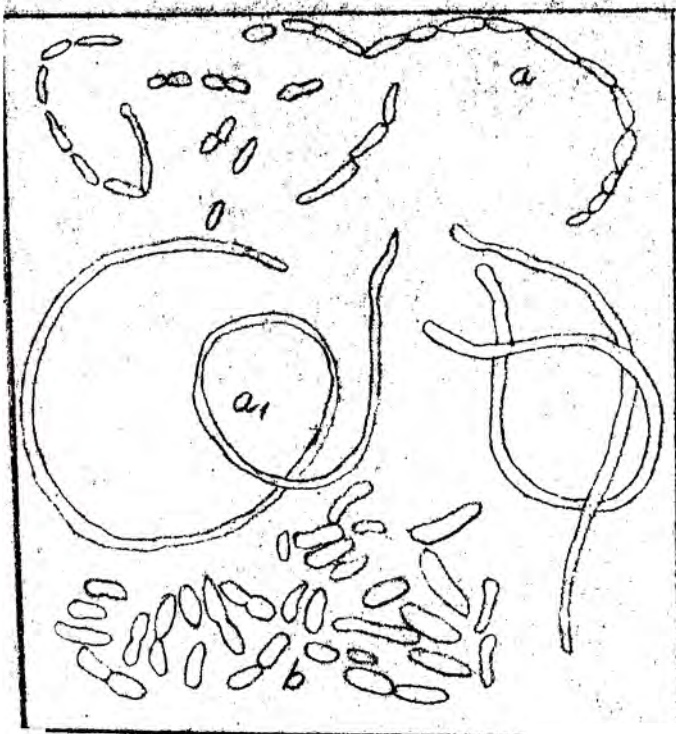
Bact. schutzenbachi.- Son células redondas, ovaladas hasta alargadas y aún a menudo en forma de hoz, extremos redondeados o puntiagudos. Longitud de 1 a 2.5  $\mu$ . Forman una película pero sin gran consistencia. La película no da reacción alguna con el yodo.



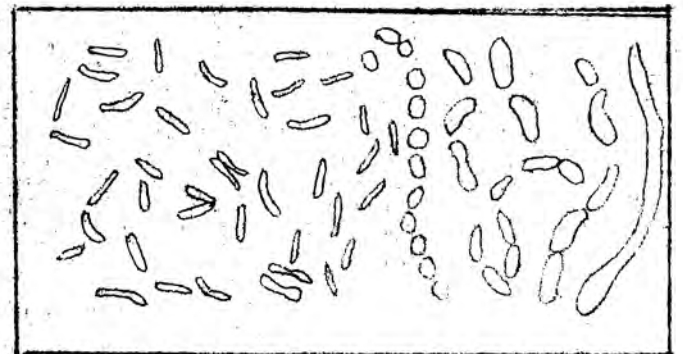
B. SCHUTZENBACHI



B. CURVUM



B. XYLINUM



B. ORLEANENSE

PRINCIPALES BACTERIAS  
USADAS EN LA FERMENTACION ACETICA

2000 diam.

Temperatura óptima: 25 - 30°C

Máxima: 35°C

Mínima: 10 - 13°C

BACTERIA XYLINUM.- Son bastoncitos cortos o largos; a menudo formas de evolución (largos filamentos). También cadenas de células. Forman películas gruesas, firmes, gelatinosas; células de 1 - 2  $\mu$  de longitud. Filamentos hasta 40  $\mu$ .

El Yodo tiñe de azul la capa mucilaginosa.

Temperatura óptima: 28°C

Máxima: 35 - 40°C

CULTIVOS PUROS DE BACTERIAS.- Para evitar accidentes de la fermentación acética debido a la presencia de razas perjudiciales de bacterias, es necesario el empleo de cultivos puros, con los que se inocularían el material de relleno. Para ello se escogerá bacterias seleccionadas y aclimatadas a vivir en las condiciones del proceso, se aíslan y se reproducen en medios nutrientes apropiados.

Estos cultivos puros tienen como fines: mayor seguridad en el trabajo, eliminación de las perturbaciones debidas a la infección, regularidad y bondad de la calidad y cantidad del producto obtenido.

NUTRIENTES.- Para el mayor crecimiento y desarrollo de las bacterias acéticas, es necesaria la adición de sustancias orgánicas e inorgánicas que le sirvan de alimento, pro-

porcionándoles el carbono, nitrógeno, fósforo, potasio y sodio que necesitan.

Entre las materias orgánicas nutritivas, tenemos principalmente el extracto de malta, de pasas, de decocciones de dátiles y algarrobos. Además, se suele añadir jarabe de melaza al extracto para proporcionar a las bacterias el carbono necesario. Pero no se debe agregar una cantidad excesiva, pues favorece el desarrollo de las bacterias del mucílago de vinagre, entorpeciendo la fabricación.

Además es necesario añadir sustancias nutritivas inorgánicas para alimentar las bacterias del vinagre, Son utilizables en primera línea, los fosfatos ácidos de amonio de potasa, y de sodio, además de los sulfatos de amonio y magnesio.

Se emplean unos 50 - 150 gr. de mezcla de nutrientes por 100 lts. de alcohol puro.

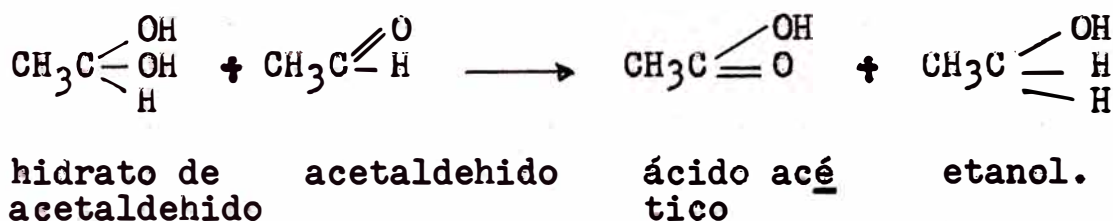
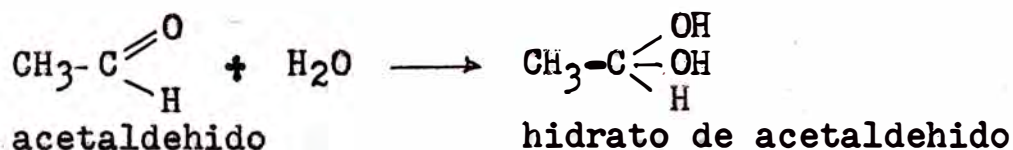
Existen varias marcas comerciales de mezcla de nutrientes con las indicaciones para su uso.

#### MECANISMO DE LA FORMACION DE ACIDO ACETICO POR FERMENTACION

Las ecuaciones químicas de la fermentación acética, no se han aclarado aún. Pero la presencia de acetaldehído como producto intermedio entre el etanol y el ácido acético en la fermentación, está admitida definitivamente. Fué demostrado por primera vez por Hoyer (1849). La fijación de este com-

puesto puede hacerse con sulfito cálcico neutro.

En condiciones anaeróbicas, puede actuar una molécula de acetaldehído como aceptor de hidrógeno para otra segunda molécula, dando una reacción de Cannizaro de la que resultarían una molécula de etanol y una de ácido acético.



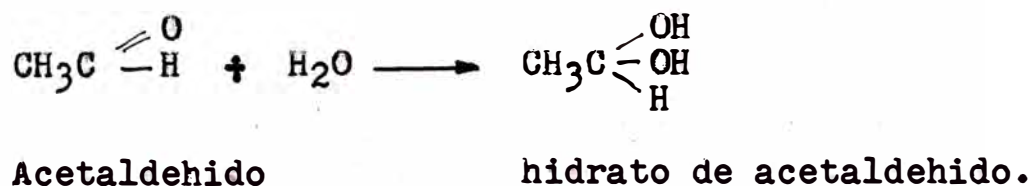
Según Neuberg y Windisch, el etanol se transforma aeróbicamente en acetaldehído, que a su vez se dismuta, en forma análoga a la ya indicada, en cantidades equimoleculares de ácido acético y etanol. Por oxidaciones y dismutaciones sucesivas acaba por transformarse todo el etanol en ácido acético.

Sin embargo, se considera como más probable que en la fermentación acética normal el ácido acético proceda de la deshidrogenación del acetaldehído. Según esto el esquema de la fermentación sería:

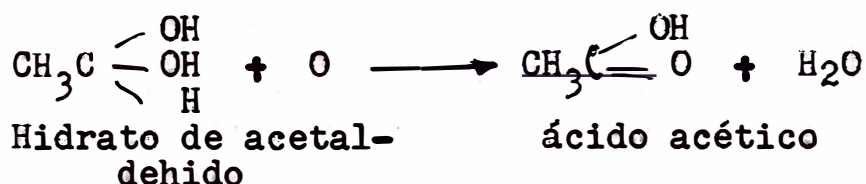
1.- El etanol pasa a acetaldehído por una deshidrogenación catalítica en la que actúa el oxígeno como aceptor de hidrógeno:



2.- Hidratación del acetadehido:

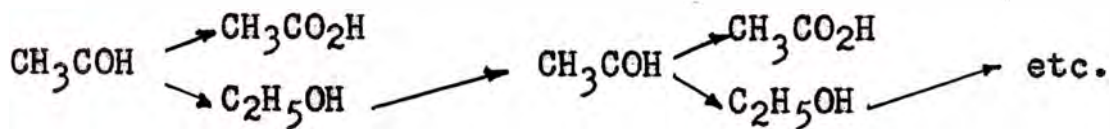


3.- Deshidrogenación del hidrato de acetaldehido:



En condiciones favorables, parte de la conversión de acetaldehido a ácido acético puede efectuarse por dismutación.

En este caso el acetaldehido actúa en parte de aceptor de hidrógeno. La ecuación es la que se conoce con el nombre "esquema del paso del peregrino":



#### 4.- REQUISITOS GENERALES EN LA FERMENTACION DEL ALCOHOL

Hay que considerar especialmente varios factores:

- a) La selección del microorganismo
- b) Concentración del alcohol
- c) Acidificación
- d) Cantidad de oxígeno suministrada
- e) La naturaleza del medio soporte.
- f) La temperatura de fermentación
- g) Acciones perjudiciales en el vinagre.

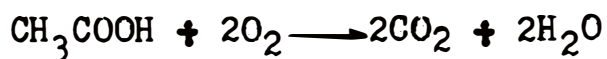
SELECCION DEL MICROORGANISMO.- Aunque un número extraordinario de bacterias, así como otros microorganismos, pueden producir ácido acético en pequeñas cantidades a partir de varios sustratos, solamente muy pocas entre ellas poseen las características adecuadas a la producción de vinagre. En el proceso rápido se emplean la Bact. shutzenbachii Bact. curvum, Bact. orleanense y Acetobacter xylinum. Además para el mejor crecimiento y desarrollo de las bacterias, se añade a los caldos ciertas sustancias orgánicas e inorgánicas que le sirven de alimento (sales de amonio y fosfatos).

CONCENTRACION DEL ALCOHOL.- El ajuste del contenido en alcohol del medio es necesario para asegurar una concentración apropiada, de 10 al 13%. Para concentraciones mayores del 14%, se forma con dificultad la capa gelatinosa de bacterias y la oxidación del alcohol a ácido acético es incom-



pleta.

Por otra parte, el empleo de concentraciones demasiado bajas puede producir una pérdida de vinagre, pues a las concentraciones de etanol inferiores al 1 ó 2 %, el ácido acético se oxida:

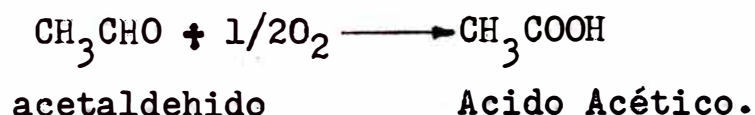
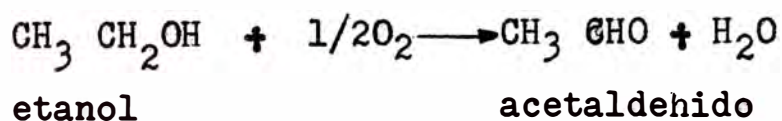


Algunas especies de bacterias acéticas pueden dar esta reacción aún a las concentraciones normales.

ACIDIFICACION.- La acidificación inicial tiene dos objetos: inhibir el desarrollo de tipos de bacterias perjudiciales y suministrar los tipos adecuados para la inoculación. Cuando la mezcla ha de pasar una sola vez por el generador, se ajusta la acidez inicial al 3 a 3.5%. Al iniciarse la operación en el generador, las virutas deben empaparse con vinagre muy concentrado; el fondo alimenticio así constituido no es aprovechable para otros micro-organismos no acéticos, con el cual se consigue el desarrollo preferente y casi exclusivo de aquellas razas de bacterias que dan el mayor rendimiento en ácido acético.

OXIGENO.- Puesto que la conversión del etanol a ácido acético es un proceso de oxidación, o bien una deshidrogenación en la que el oxígeno atmosférico actúa como aceptor de hidrógeno, el éxito de la fermentación dependerá en gran parte de la presencia de cantidades suficientes de oxígeno.

Las reacciones son:



Por eso, para permitir una buena ventilación se rellenan con un material de soporte a los generadores. Entraremos en más detalles sobre la ventilación en la descripción de los generadores.

EL MEDIO SOPORTE.- El empleo de un medio soporte satisfactorio tiene una gran influencia sobre la duración y éxito de la fermentación acética, siendo su objeto aumentar el área de superficie de actuación de las bacterias, acelerando así la fermentación por la posibilidad de un mayor suministro de oxígeno. Antes de la época de Pasteur, cuando no se empleaba el medio soporte para la capa bacteriana, esta última se perturbaba periódicamente. Las capas removidas caían al fondo y empleaban anaeróbicamente las materias nutritivas del medio sin producir ácido acético.

En los generadores, el medio soporte está constituido generalmente por virutas de haya, que pueden sustituirse por bejucos, carbón de madera, coque, bagazo de manzanas, tusas de maíz, o cualquier material que ofrezca gran superficie.

Debe limpiarse cuidadosamente por extracción con agua caliente y después con a. acético diluido, antes de emplearlo en el generador.

El mejor material de soporte lo constituye las virutas de haya preparadas de manera apropiada con superficie áspera algo ondulada y abundantemente dentada. Sobre la cual se puedan fijar las bacterias. El arrollamiento de las virutas no debe ser ni excesivamente flojo ni demasiado apretado. Las virutas de haya pueden cumplir su cometido de 40-50 años en un mismo generador. Se calcula 100-200 kg. de viruta por m<sup>3</sup> de capacidad.

#### ACCION DE LA TEMPERATURA SOBRE LAS BACTERIAS DE ACIDO ACETICO

El grupo de bacterias acéticas se caracterizan por el intervalo tan delimitado de temperatura en que actúan. Para temperaturas debajo de los 12 a 15 grados centígrados se desarrollan lentamente y las células son cortas, pero extraordinariamente anchas. De los 15 a 34 grados centígrados parecen desarrollarse en lo que podríamos llamar de modo "normal", creciendo rápidamente y desplegando cadenas de células de distintos números de unidades o elementos. En medios favorables se hinchan, apareciendo las primeras etapas de formación de la capa mucilaginosa. A temperaturas mayores (de 42 a 45°C) se han observado unos filamentos largos como hebras y transparentes sin tabiques de división y con protuberancias

irregulares y a veces con ramificaciones. Estas condiciones son un estado patológico ocasionado por la alta temperatura, y si se mantiene el cultivo en estas condiciones durante mucho tiempo, puede perder su capacidad para actuar normalmente. Sin embargo, si se vuelve prontamente a temperaturas de 15 a 34°C, se producen algunas células de aspecto y comportamiento normales.

La siguiente tabla dá las temperaturas óptimas de las bacterias a emplearse:

<i>Bacterium curvum</i>	25 - 30°C.
<i>Bacterium orleanense</i>	20 - 30°C.
<i>Acetobacter xylinum</i>	28°C.
<i>Bacterium schutzenbachii</i>	25 - 27.5°C.

En E.U. se considera como más favorable el intervalo de 27 a 30°C. En otros países se emplean temperaturas superiores. En general puede decirse que a temperaturas bajas la fermentación es lenta y a temperaturas demasiado elevadas aumentan las pérdidas por evaporación de alcohol y ácido acético.

Por todo lo visto, es necesario un control exacto de la temperatura. Los generadores tienen un sistema de refrigeración, ya que la reacción que se produce en ellos es exotérmica.

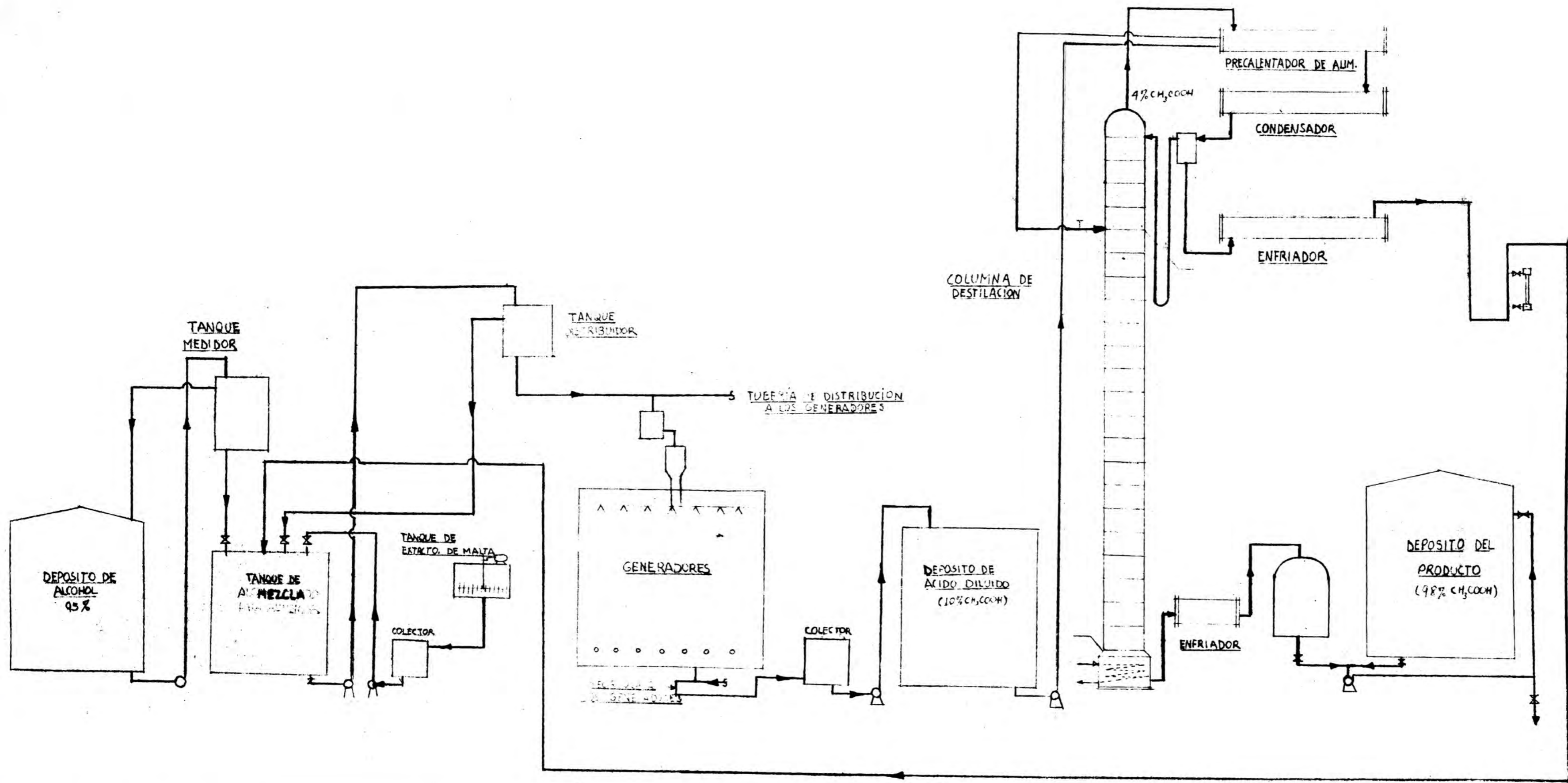
## ACCIONES PERJUDICIALES EN LA PLANTA DE FERMENTACION

Es necesario mantener una limpieza extremada en toda la instalación, ya que las soluciones diluídas de ácido acético, son atacables por gusanos, gorgojos y moscas. Estos bichos se multiplican por el calor y la humedad y llegan a constituir un gran estorbo en la fabricación.

Las anguilas del vinagre, que son gusanos hemátodos, pueden proceder del polvo, suciedad y de los otros insectos. Atacan la capa bacteriana y originan su hundimiento. Se destruyen por calefacción a unos 45°C. Los aparatos infectados se tratarán con chorros de vapor.

El gorgojo se multiplica rápidamente en presencia de calor y humedad. Por esto es necesario observar una limpieza extremada en toda la instalación e impidiendo su acceso a los depósitos por medio de líquidos repelentes como la trementina; alrededor de cada orificio de entrada se hará un círculo con este líquido para evitar el paso de los bichos. Su eliminación es la misma que para las anguilas. También dá resultados la fumigación con azufre, empleo de vapor y agua caliente.

Para evitar la presencia de las moscas del vinagre también es necesario una limpieza escrupulosa y cerrar con telas metálicas las puertas y ventanas de los locales, así como los orificios de los fermentadores.



Esquema N° 2

DIAGRAMA DE FLUJO  
 DEL PROCESO ALCOHOL VINAGRE  
 ACIDO ACETICO

DIBUJADO POR E.T.M.G

E.N.I LIMA D.C. 1954

#### IV PARTE

### ESTUDIO TECNICO DEL PROYECTO

#### RESEÑA DE LAS OPERACIONES Y PROCESOS EN LA PLANTA

Partimos del alcohol, el cual por el método de fermentación rápida se transforma en ácido acético, en solución diluída, la cual será necesario concentrar por destilación para obtener un producto de 98 % de pureza en ácido acético.

Según el diagrama de flujo desarrollado (esquema No. 2) :

1o. La materia prima es descargada en el tanque que sirve de depósito del alcohol de 95 % (operación).

2o. Se bombea del tanque de materias primas al tanque medidor, de donde por gravedad pasa a los tanques de mezcla; se bombea a este mismo tanque la solución al 4 % de acético que destiló de la torre y que se recicla en este tanque para diluir el alcohol y proporcionar el ácido acético para la acidificación de la mezcla.

Se añaden los nutrientes necesarios para las bacterias de la fermentación (por bombeo).

3o. Se bombea del tanque de mezcla, al tanque distribuidor, donde por gravedad cae a los generadores (operación).

4o.- La mezcla, en un recido continuo pasa por los generadores, donde se produce la transformación del etanol a

ácido acético. Por el fondo del generador se inyecta aire por medio de un ventilador para proporcionar el oxígeno necesario para la oxidación (proceso).

5o. Pasa la solución al tanque colector, de donde se bombea al depósito de ácido diluído.

6o. Se alimenta por bombeo continuo a la torre de destilación, previo paso por el precalentador. Se obtienen por el fondo de la torre el producto, destilando el agua con un 4% de ácido acético.

7o. El destilado condensado y enfriado pasa a un tanque de almacenamiento de donde se recicla por bombeo a los tanques de mezcla. Parte del condensado se retorna como reflujo, por el tope de la torre.

8o. El producto es enfriado bombeado al depósito del producto, de donde es envasado.

### CONSIDERACIONES GENERALES

El proceso a seguirse es continuo.

Producción anual: 200,000 kg. de a. Acético de 98%.

Operación: 3 turnos por días (8 horas c/u.)

Días de operación por año: 300 días

Producción diaria: 666 kg.

Producción por hora: 27.8 kg.

Especificaciones de la materia prima:

Alcohol industrial de 95%



Nutrientes para las bacterias de fermentación (Acetopep).

Oxígeno necesario: aire por ventilación forzada.

Rendimiento total (considerando pérdidas en la fermentación y destilación) : 80%.

## 2.- BALANCE DE MATERIAS

### Cantidad de alcohol necesario:

La ecuación química total:



O sea: 1 mol. de alcohol  $\longrightarrow$  1 mol. de ácido

p.m. de alcohol etílico: 46

p.m. de ácido acético: 60

Para producir 1000 kg. de ácido acético 100%, considerando un 80 % de rendimiento, el alcohol de 95 % necesario es:

$$\frac{46 \times 1000}{60 \times 0.8 \times 0.95} = 1010 \text{ kg. de alcohol.}$$

Nuestra producción anual es:

200,000 kg. de ác. acético de 98%, o sea:

$$200,000 \times 0.98 = 196,000 \text{ kg. ác.acético 100\%}$$

Alcohol anual empleado:

$$\frac{196,000}{1000} \times 1010 = 197,800 \text{ kg. de alcohol de 95\%}$$

Peso específico del alcohol de 95% a 20°C =  
0.80424 kg/lt.

Litros de alcohol por año:

$$\frac{197,800 \text{ kg}}{0.80424 \text{ kg/l.}} = 246,000 \text{ lts.}$$

Litros de alcohol por día:

$$\frac{246,000}{300} = 820 \text{ lts.}$$

$$\text{Por hora: } \frac{820}{24} = 34.2 \text{ lts. } \text{ ó } 27.5 \text{ Kgs.}$$

En el balance de materias calculado en la torre de destilación (Pag. 64. ) :

Alimentación: 435.3 kg/hora sol. de ácido acético al 10%.

Producto: 27.8 kg/hora ácido acético al 98 %.

Destilado: 407.5 kg/hora, agua con 4% de ác. acético.

Este destilado se recicla al tanque de mezcla donde tendríamos:

	27.5 kg. alcohol/hora	6.3%
4% ac. acético, de 407.5 kg.	16.3 kg. ac. acético/hora	3.7%
96% agua de 407.5 kg.	<u>391.2</u> kg. agua/hora	90 %.
	435.0 kg. mezcla/hora.	

Además hay que considerar que en el generador, por cada mol. de alcohol, que se transforma, obtenemos una mol. de agua.

$$\text{Kg. agua} = \frac{27.5}{46} \times 18 = 10.8 \text{ kg. producidas por}$$

hora.

Transformando el alcohol en el generador, descontando las pérdidas y considerando la producción de agua, se obtiene una solución aproximadamente del 10 % en ácido acético.

Los generadores deben producir alrededor de 10,000 litros/día, (5,000 litros por generador) de esta solución y con la cual se alimentará a la torre.

CANTIDAD DE AIRE NECESARIO.- Debe suministrarse el 200 % del aire teórico necesario:

Según la ecuación, por mol. de alcohol, se necesita 1 mol. de  $O_2$ .

$$\text{Moles de } O_2/\text{hora} = \frac{27.5}{46} = 0.6 \text{ moles } O_2/\text{hora.}$$

$$\text{Moles de Aire necesarios: } \frac{0.6 \times 2}{0.453 \times 0.21} = 12.62 \text{ lbs.}$$

moles de aire/hora.

$$\text{Vol. aire} = 359 \times \frac{293}{273} \times 12.62 = 4860 \text{ pie}^3/\text{hora}$$

Luego debe suministrarse a cada generador 2500  $\text{pie}^3/\text{hora}$  de aire.

### PREPARACION DE LA MEZCLA

Se harán dos tanques de 50000 litros cada uno, que nos proporciona la mezcla necesaria para una semana de trabajo.

Según el balance de materias, se recibirán por hora:

27.5 kg. alcohol de 95% (p.e = 0.8024)

y 407.5 kg. de sol. al 4 % de ácido acético (p.e = 1)

En litros serían: 34 lts. alcohol y 408 litros de la solución.

Para producir 50,000 litros de mezcla serán necesarios;  $\frac{50,000 \times 34}{442} = 3875$  lts. de alcohol de 95 %.

$\frac{50,000 \times 408}{442} = 45,125$  lts. de sol. 4 % de ácido acético.

Estas cantidades se bombean de los tanques de almacenamiento respectivos a los tanques de mezcla.

### ADICION DEL NUTRIENTE

El nutriente será una mezcla de extracto de malta y nutrientes inorgánicos en la proporción de 1 kg. de extracto de malta y 100 grs. nutriente inorgánico por 100 lts. de alcohol puro.

Para 200,000 lts. del alcohol puro a tratarse por año, serán necesarios:

2000 kg. extracto de malta

200 kg. nutriente inorgánico.

### 3.- DESCRIPCION Y FUNCIONAMIENTO DEL GENERADOR

El diagrama del generador, en elevación, nos ayudará a entender el funcionamiento.

El generador del vinagre 1, tiene un enrejado de madera 2 que sirve de falso fondo, debajo del cual está el espacio 3 donde se colecta la mezcla a convertirse a vinagre.

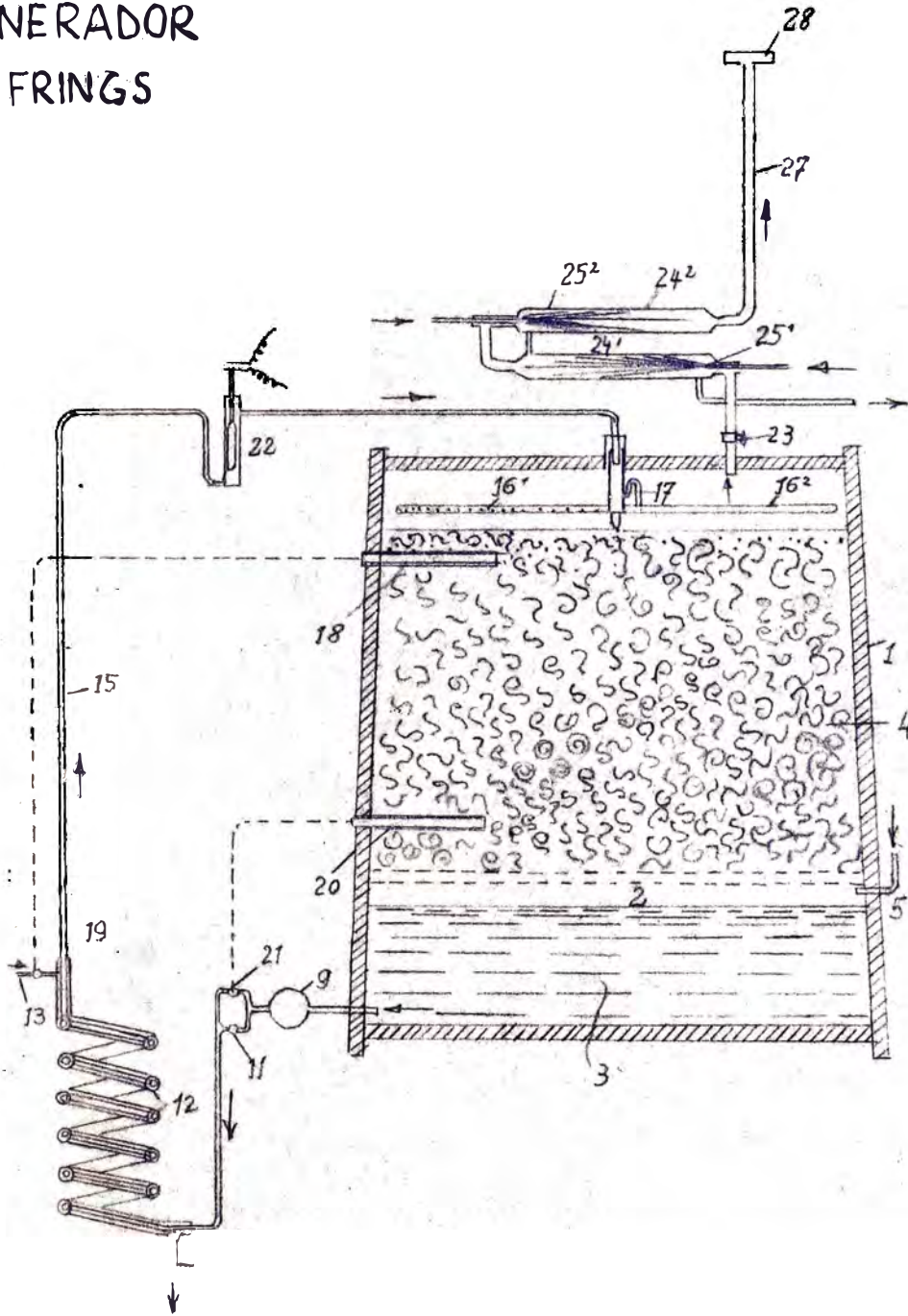
Sobre el enrejado 2 se encuentra el material de relleno. El aire entra por las tuberías 5. 9 es una bomba de trabajo continuo que lleva la mezcla de 3 y lo pasa a través de la válvula de control de flujo 11, hacia el enfriador 12. El agua de enfriamiento entra por 13 y sale por 14.

La mezcla enfriada pasa a través de la tubería 15 a la rueda rociadora 16, que está colocada en la parte superior del generador, y que se mueve por el mismo principio del molinete hidráulico.

Esta rueda tiene varios brazos, pero que no descargan líquido simultáneamente. Cuando el flujo del líquido es débil, la descarga se hace sólo por el brazo 16. Cuando la velocidad del flujo excede cierto límite, el sifón 17 distribuye a un segundo brazo 16. Este arreglo asegura una perfecta distribución de la mezcla.

Como cerca de 2,000 calorías por litro de alcohol son

# GENERADOR DE FRINGS



Esquema N° 4

liberadas en la oxidación de la mezcla, habría un momento en que se sobrecalentaría el generador, disminuyendo o parando la fermentación. Para evitar esto, se dispone del enfriador 12, por donde pasa la mezcla en continua circulación.

Como es necesario controlar simultáneamente la temperatura y la velocidad de infusión, el aparato está equipado con reguladores térmicos, que se basan en la expansión de los líquidos por la temperatura, y el cierre automático de contactos eléctricos. Estos reguladores están situados en la parte superior e inferior del relleno.

El regulador superior 18 actúa en conexión con la válvula 19 de la tubería de agua 13.

El regulador inferior 20 controla, también a través de una conexión operadora, la válvula 21 en la tubería de la mezcla.

El regulador 18 controla la temperatura de infusión; si esta temperatura es más baja que la temperatura óptima, el regulador cierra la válvula de agua;19, si en cambio la temperatura es muy elevada, dicho regulador abre la válvula 19, enfriándose la mezcla.

Cuando procede la fermentación normalmente, la zona correspondiente al tercio inferior tiene la máxima temperatura, temperatura que está regulada por 20. Dicho regulador no controla realmente la temperatura de la infusión, sino más bien la velocidad de la infusión, abriendo la válvula 21 en la

tubería de mezcla si la temperatura se eleva demasiado. Cuando esto pasa, el flujo de la válvula 11 es aumentado por el de la válvula 21.

Por estos reguladores se mantiene una temperatura de infusión constante, lo cual hace posible controlar la acidificación areométricamente. Como el vinagre final tiene un mayor peso específico que la mezcla alcohólica, y como normalmente se produce vinagre de la misma concentración final, si mantenemos la temperatura constante, tenemos las condiciones necesarias para una indicación areométrica de la marcha de la acidificación. Un areómetro, 22, instalado en la tubería de la infusión, 15, se eleva a medida que avanza la acidificación hasta llegar a un máximo, o sea cuando se ha completado la acidificación, y cierra un contacto eléctrico que opera un timbre, señal para descargar el generador, y cargarlo con más mezcla.

El aire de oxidación entra al generador por las tuberías 5, colocados bajo el enrejado 2, atraviesa el material de relleno y deja el aparato a través de una válvula reguladora 23. El alcohol y vapores ácidos que puede arrastrar el aire se separan rociándoles agua atomizada en los condensadores 24<sub>1</sub> y 24<sub>2</sub>. El agua atomizada fluye de las boquillas 25'. El aire usado deja el condensador a través de una tubería de escape, que remata en la cabeza 28.

Cuando se comienza la operación y el generador está frío, el enfriador 12 sirve como un precalentador del líquido



a fermentarse, suministrando por 13 agua caliente de las calderas.

Las ventajas que presenta este generador automático son:

a) Un mayor rendimiento, y aumento de la producción diaria, en comparación con los antiguos generadores sin control.

b) Reducen al mínimo el trabajo del operador.

c) Se puede ajustar la producción de vinagre a la demanda, reduciéndose la producción si así fuera necesario, sin perjuicio de las bacterias.

#### INICIACION DE TRABAJO EN EL GENERADOR

Antes de poner en funcionamiento el generador, el cual se ha rellenado con el material de soporte, es necesario acondicionar este último.

Cuando se inicia el trabajo en un generador nuevo, se trata con vapor vivo durante 24 horas para matar cualquier organismo vivo. Se deja enfriar. Se recircula por el material de relleno vinagre fresco, sembrado de bacterias, durante 48 horas, hasta que las virutas queden saturadas.

Se agrega de tiempo en tiempo pequeñas cantidades de mezcla alcohólica para iniciar un crecimiento vigoroso de bacterias en la superficie del relleno. Esta operación puede durar de 10 - 12 días.

Como vamos a trabajar con cultivos puros, es preciso empapar el relleno, primeramente, con caldos flojos de vinagre, aumentando después la riqueza de ácido de estos líquidos conforme se vayan desarrollando sobre las virutas, las bacterias acéticas empleadas.

Esta acidificación preliminar es necesaria pues el fondo alimenticio así formado no es aprovechable para otros microorganismos no acéticos, y así se consigue el desarrollo exclusivo de las bacterias que dan mayor rendimiento.

Una vez tratado así el generador, está listo para trabajar en condiciones normales. Se carga el generador con la producción de 6 - 7 días, durante esos días se tiene en continua recirculación, hasta finalizar la fermentación.

Es importantísimo un control exacto de la temperatura, por ser las bacterias muy sensibles. Este control, como ya hemos visto al tratar del funcionamiento del generador, no permite que la temperatura en el tope no se eleve a más de 28°C y 34°C en el fondo.

### CONDENSADORES EN LOS GENERADORES

Se llama así al aparato instalado en la parte superior del generador, a la salida del aire de oxidación. Tiene por objeto recuperar los vapores del alcohol y ácido acético que escapan juntamente con el aire ya utilizado. Para ello se tratan los gases de escape con agua atomizada por un eyector.

El condensado o agua recolectada contiene de 0.7 - 1 % de alcohol y de 0.2 - 0.3 % de ácido aproximadamente.

Se utilizan de 40 - 50 lts. de agua diariamente por generador, que una vez utilizadas van a los tanques de mezcla.

V PARTE

BALANCE DE MATERIAS Y CALCULO DE LA TORRE DE DESTILACION

BASES.- Trabajamos en este proyecto sobre la producción de 200 tns. (m) al año de ácido acético de 98%. La solución a destilarse es vinagre al 10%. Al fondo de la torre tendremos el producto y por el tope de la torre destilará agua con un 4% de ácido acético. El líquido de la alimentación entra en su punto de ebullición.

PRODUCCION POR HORA.- Considerando el año de trabajo de 300 días:

$$\text{Prod/hora} = \frac{200,000}{300 \times 24} = 27.8 \text{ Kg./hora}$$

COMPOSICION DEL LIQUIDO DE ALIMENTACION

Los porcentajes en peso son: 90% de agua  
10% ác.acético.

En fracción molar de agua, equivaldría a:

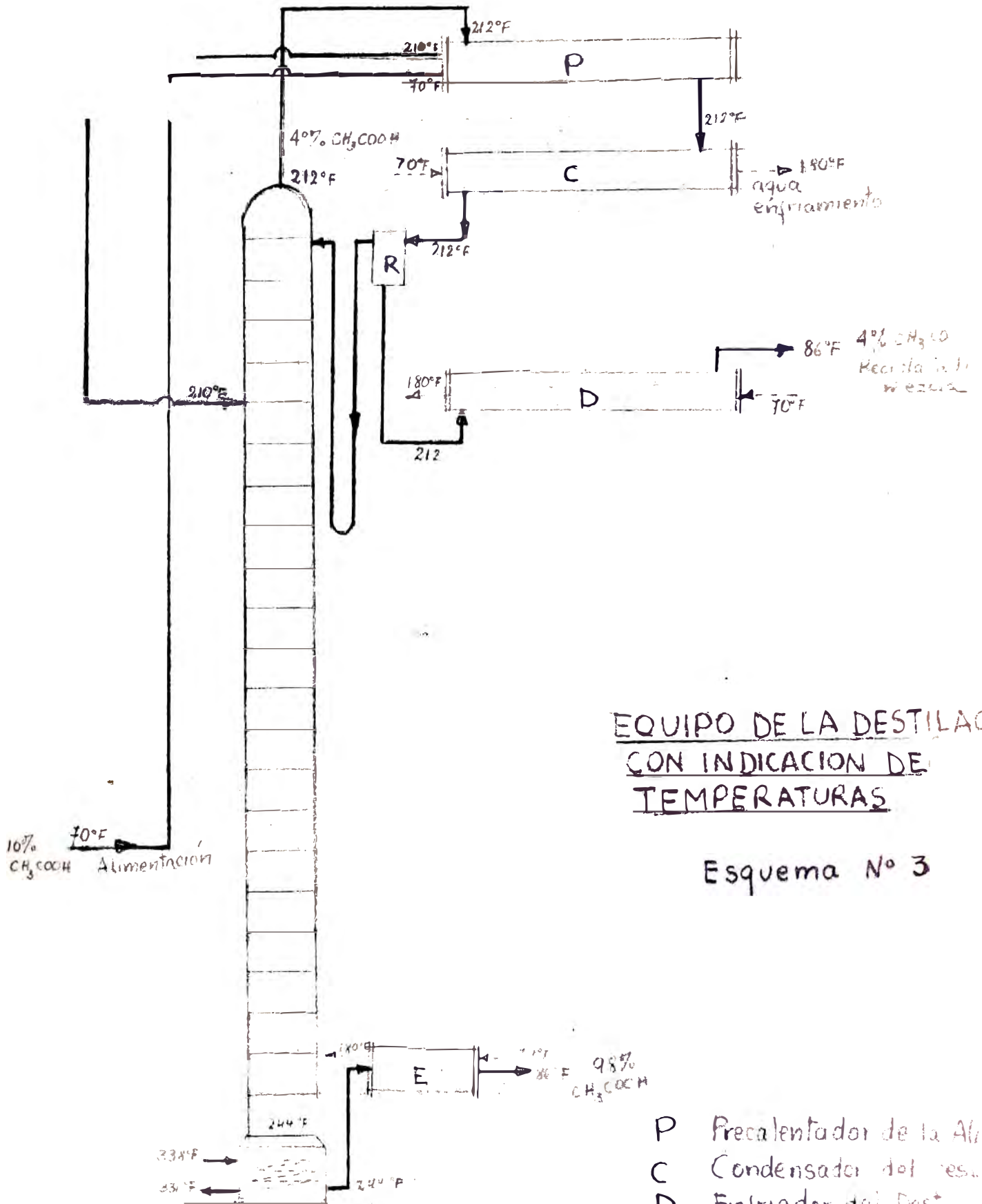
$$\begin{aligned} 90: 18 &= 5 \\ 10: 60 &= \frac{0.166}{5.166} \\ \text{mols totales} &= 5.166 \end{aligned} \quad x_f = \frac{5}{5.166} = \underline{0.967} \text{ mol/H}_2\text{O}$$

COMPOSICION DEL DESTILADO

En peso: 96% agua  
4% ác.acético

En fracción molar:

$$\begin{aligned} 96: 18 &= 5.33 \\ 4: 60 &= \frac{0.066}{5.396} \end{aligned} \quad x_D = \frac{5.33}{5.396} = \underline{0.99}$$



EQUIPO DE LA DESTILACION  
CON INDICACION DE  
TEMPERATURAS

Esquema N° 3

- P Precalentador de la Alm.
- C Condensador del res.
- D Enfriador del Dest.
- E Enfriador del producto
- R Control de Reflujo

COMPOSICION DEL RESIDUO (Producto, en nuestro caso)

En peso: 2% agua  
98% ác. acético.

$$2: 18 = 0.111$$

$$98: 60 = \frac{1.63}{1.741} \quad \text{Frac.molar } X_w = \frac{0.111}{1.741} = 0.064$$

Ubicamos estos puntos en el diagrama de equilibrio del sistema agua - ácido acético.

CALCULO DEL NUMERO DE PLATOS. METODO DE MC CABE - THIELE.

DETERMINACION DE LAS LINEAS DE OPERACION

Línea q.- Como el líquido de la alimentación está al punto de ebullición, la línea q es una línea vertical en el punto de abscisa:

$$x_f = 0.967$$

Y por ser vertical, el valor de la abscisa del punto en que la línea q corta a la curva de equilibrio  $x'$  es igual a  $x_f$ .

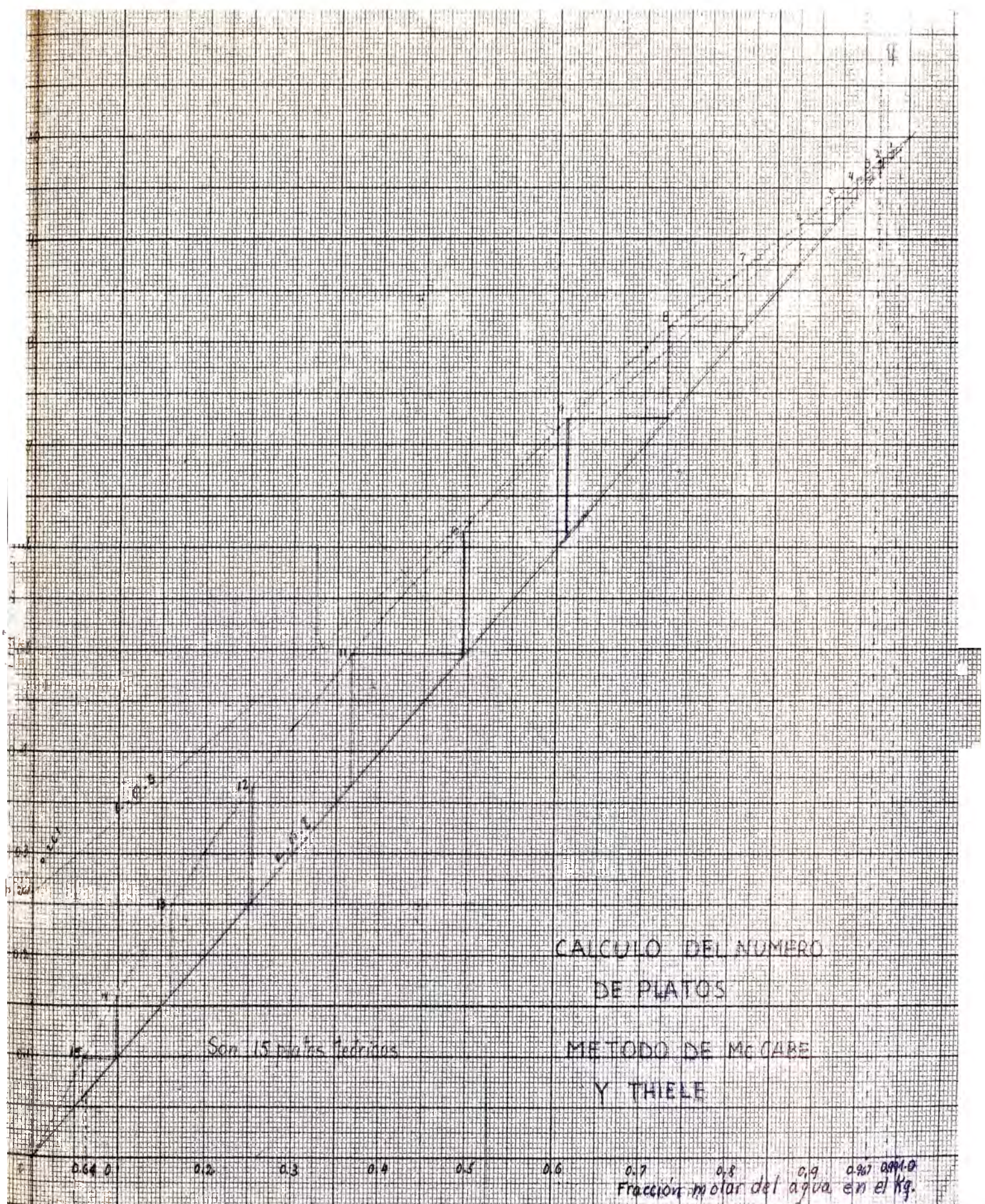
$$x' = x_f = 0.967.$$

Y observando en el diagrama, el valor de la ordenada

$$Y' = 0.975$$

REFLUJO MINIMO

$$R_M = \frac{x_D - Y'}{Y' - x'} = \frac{0.99 - 0.975}{0.975 - 0.967} = \underline{1.87}$$



Son 15 platos teóricos

CALCULO DEL NUMERO DE PLATOS

METODO DE MCCABE Y THIELE

Fracción molar del agua en el Kg.

Esquema N° 1

Proyecto presentado por E. Tami  
 Planta de Acido Acetico 458

Reflujo Optimo.- Lo consideramos 1.5 veces mayor que el reflujo mínimo.

$$R \text{ opt.} = 1.87 \times 1.5 = \underline{2.8}$$

Línea de operación superior (L.O.S.).- La trazamos entre los puntos:

$$x_D = 0.99$$

y el punto de intersección con el eje "y":

$$Y_1 = \frac{x_D}{R + 1} = \frac{0.99}{2.8 + 1} = 0.261$$

Línea de operación inferior (L.O.I.)

La trazamos con los puntos:  $x = 0.64$

y el punto de intersección de la L.O.S., y la línea q.

(Por las condiciones de entrada la L.O.I. se confunde casi con la línea de 45°).

### NUMERO TEORICO DE PLATOS

En el diagrama, siguiendo el método gráfico de McCabe y Thiele, obtenemos:

Número de platos teóricos: 15 platos

Plato de alimentación: Tercer plato, a partir del tope.

Consideramos el alambique como un plato, luego:

Platos teóricos necesarios:  $15 - 1 = \underline{14 \text{ platos}}$

Eficiencia de la Torre: Consideramos una eficiencia de 0.65.



Número de platos reales:

$$\frac{14}{0.65} = 21.58 \quad \underline{22} \text{ platos}$$

Ubicación real del plato de alimentación (aprox.).

$$\frac{3}{0.65} = 4.62 - 5^\circ \text{ plato a partir del tope.}$$

BALANCE DE MATERIAS

Nos valemos de las ecuaciones:

Siendo:

$$F = W + D \quad (1) \quad F = \text{Kg/hora, alimentación}$$

$$x_F F = x_W W + x_D D \quad (2) \quad W = \text{" residuo}$$

$$D = \text{" destilado}$$

Tenemos que:  $W = 27.8 \text{ Kg/hora}$

en (1) :  $F = 27.8 + D$

y  $x_F = 0.1$

$$x_W = 0.98 \text{ (frac.en peso de ácido acético).}$$

$$x_D = 0.04$$

Reemplazando estos valores en (2)

$$0.1 (27.8 + D) = 0.98 \times 27.8 + 0.04 D$$

Resolviendo esta ecuación: obtenemos:

$$D = \frac{27.8 \times 0.88}{0.06} = 407.5 \text{ Kg./hora}$$

$$y \quad F = 407.5 + 27.8 = 435.3 \text{ Kg/hora.}$$

El reflujo R sería:

$$407.5 \times 2.8 = 1140 \text{ lts/hora. (p.e } \sim 1)$$

BALANCE DE CALOR

Calor a suministrarse

Tenemos la ecuación:

$$\bar{V} = F (q - 1) + V \quad (\text{Ec. 198 Badger y Mc Cabe})$$

por ser  $q = 1$

Siendo:

$$\bar{V} = F (1 - 1) + V$$

$V =$  moles de vapor/hora que ascienden en la zona rectificadora.

$$\bar{V} = V$$

$\bar{V} =$  moles de vapor/hora que ascienden en la zona de agotamiento.

Hemos visto en la pág. 64 que por cada 100 lbs. de destilado hay un total de 5.396 moles.

Luego, para 407.5 kg/hora de destilado hay:

$$\frac{407.5}{100} \cdot \frac{5.396}{0.453} \text{ Kg/lb} = \text{lb moles.}$$

Por cada mol de producto ascienden en la torre:

$R + 1$  moles vapor, ó:

$$2.8 + 1 = 3.8$$

Por tanto:

$$\bar{V} = V = \frac{407.5}{100} \times \frac{5.396}{0.453} \times 3.8 = 184 \text{ lb moles/hora.}$$

La composición de la entrada  $x_f = 0.967$  nos da un punto de ebullición  $100^\circ\text{C}$  (en el diagrama de punto de ebullición, sistema agua y ácido acético).

Del Manuel de Perrys:

Calor latente  $\text{CH}_3\text{COOH}$  a  $100^\circ\text{C} = 5805 \text{ cal/mol.}$

" "  $\text{H}_2\text{O}$  a " = 9729 "

Fracción molar agua, entrada = 0.967

" " a.acético " = 0.033

Calor latente molar promedio

$$= \frac{5805 \times 0.033 + 9729 \times 0.967}{1} = 9591.7 \text{ cal gr./mol gr.}$$

$$\delta \quad 9591.7 \text{ cal/mol gr.} \times 1.8 = \text{BTU/lb mol.}$$

Calor necesario por hora, considerando 5% pérdidas por radiación:

$$184 \times 9591.7 \times 1.8 \times 1.05 = \underline{3,300,000} \text{ BTU/hora.}$$

### DIAMETRO Y ALTURA DE LA COLUMNA

Empleamos la fórmula empírica para determinar la velocidad máxima (Perry)

$$u = K_v \sqrt{\frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2}} \quad \begin{array}{l} u = \text{veloc.máx.pie/seg.} \\ \rho_1 = \text{densidad del líquido} \\ \rho_2 = \text{" " vapor} \end{array}$$

Para las condiciones de salida:

$$\rho_1 = 62.4 \text{ lb/pie}^3$$

$$\rho_2 = \frac{100}{5.396} \times \frac{1}{359} \times \frac{492}{560} = 0.0454 \text{ lb/pie}^3$$

$$K_v = 0.17 \text{ (Perry)}$$

$$u = 0.17 \sqrt{\frac{62.4 - 0.0454}{0.0454}} = 0.17 \times \sqrt{1375} = 6.28 \text{ pie/seg.}$$

Ya determinamos que:

$$\bar{V} = 184 \text{ lb moles/hora, que expresado en pie}^3:$$

$$\bar{V} = \frac{184 \times 359}{3600} \times \frac{560}{492} = 20.83 \text{ pie}^3/\text{seg.}$$

$$\text{Sección A} = \frac{20.83 \text{ pie}^3/\text{seg.}}{6.28 \text{ pie}/\text{seg.}} = 3.32 \text{ pie}^2$$

$$\text{Diámetro D} = \underline{3.32 \times 4} = 2.06 \sim 2 \text{ pies.}$$

Distancia entre los platos,  $h = 1 \text{ diámetro} = \underline{2 \text{ piés}}$

Altura de la torre, = No. de platos x h  
= 22 x 2 = 44 piés

### CALCULO DEL AREA DE CALENTAMIENTO EN EL ALAMBIQUE

Es un caso de transferencia de calor, por convección natural, entre el producto y las tuberías de vapor.

Calor a transmitirse:  $Q = 3'300,000 \text{ BTU/hora}$

Temperatura del líquido =  $118^\circ\text{C}$  ó  $244^\circ\text{F}$ .

### CONDICIONES DE VAPOR SATURADO A EMPLEARSE :

100 lbs/pulg<sup>2</sup> manométricas ó

114.7 lbs/pulg<sup>2</sup> absolutas

y  $338^\circ\text{F}$ .

Emplearemos el gráfico 78 de Badger:

$\log_{10} \text{Nu}$  vs.  $\log_{10} (\text{Gr} \times \text{Pr})$

o sea:

$$\text{Log} \frac{h D}{K} \text{ vs } \text{log} \left[ \frac{g D^3 \beta \Delta t \rho^2}{\mu^2} \cdot \frac{C \mu}{K} \right] \text{ (I)}$$

Siendo:

- h = coeficiente de transferencia de calor  
D = diámetro  
K = conductibilidad térmica  
u = velocidad linear  
 $\rho$  = densidad  
 $\mu$  = viscosidad  
C = calor específico  
g = aceleración de la gravedad  
 $\beta$  = coeficiente de expansión térmica  
 $\Delta t$  = diferencia de temperatura.

El coeficiente filmico del ácido acético es mucho menor que la del vapor condensándose; por tanto se puede asumir que toda la resistencia térmica está al lado del ácido acético. Así mismo, se puede asumir por esto que no hay apreciable caída de temperatura entre el vapor y la tubería; y que está a la temperatura del vapor, o sea: 338°F.

$$\text{Temp.vapor} = 338^{\circ}\text{F}$$

$$\text{" líquido} = \underline{244}$$

$$\Delta t = 94^{\circ}\text{F}$$

Temperatura media del film; puede considerarse entre la temperatura de la tubería y del líquido, ó:

$$\frac{338 + 244}{2} = 291^{\circ}\text{F}$$

Y los datos necesitados en (I) se van a evaluar según esta temperatura.

Se va a utilizar tubería de diámetro  $1 \frac{1}{4}''$

De manuales y tablas obtenemos:

$$\beta = 0.00072$$

$$D = \text{diám. exterior} = 1.66'' = 0.1383 \text{ pié.}$$

$$\rho = 58.4$$

$$g = 4.18 \times 10^8 \text{ ft/hora}^2$$

$$\Delta t = 94^\circ\text{F}$$

$$C_p = 1.5$$

$$\mu = 0.43 \text{ cp} \times 2.42 = 1.04 \text{ pié lb.hora.}$$

Reemplazando obtenemos:

$$\begin{aligned} \text{Log. } & \frac{4.18 \times 10^8 \times (0.1383)^3 \times 0.00072 \times 94 \times (58.4)^2 \times 1.5}{0.43 \times 2.42 \times 3.01} \\ & = 9.04 \end{aligned}$$

Con este valor, obtenemos en la curva:

$$\text{Log. Nu} = 1.92$$

$$\text{Nu} = 83.2$$

$$\text{Nu} = \frac{h \times D}{K}$$

$$h = \frac{83.2 \times 0.301}{0.1383} = 180$$

Aproximamos:  $U = h$

$$Q = U A \Delta t \quad A = \text{área exterior}$$

$$3'300,000 = 180 \times A \times 94$$

$$A = \frac{3'300,000}{180 \times 94} = \underline{195 \text{ pié}^2}$$

Para tubería de  $D = 1 \frac{1}{4}''$ , tiene un  $1 \text{ pié}^2$  de área exterior por 2.304 piés de long.

$$\text{Long. de tubería} = 195 \times 2.304 = \frac{450}{2} \text{ piés.}$$

Distancia entre tubo y tubo:  $\frac{3}{4}''$

No. de tubos en un plano horizontal:

$$\frac{24''}{1 \frac{1}{4}'' + \frac{3}{4}} = 12 \text{ tubos}$$

Cada tubo mide 2' luego por cada fila horizontal

hay:

$$12 \times 2' = 24 \text{ piés}$$

No. de filas horizontales =

$$\frac{450}{24} = \underline{19 \text{ filas}}$$

### CALCULO DE LOS INTERCAMBIADORES

#### a) DEL PRECALENTADOR DE LA ALIMENTACION

Tipo del intercambiador: de tubos horizontales,, con la alimentación dentro de los tubos y los vapores del destilado, condensándose fuera de los tubos.

Temp.de entrada de alimentación: 20°C

" " salida " " : 99°C

Temp.de entrada o salida del condens.: 212°F

#### Calor a transferirse

Alimentación = 435.3 Kg/hora

Calor específico = 0.986

$$Q = 435.3 \times 0.986 (99-20) \times 4 = 136,000 \text{ BTU/hora.}$$

### Cálculo del área de calentamiento

Coeficiente de película al lado de los vapores condensándose.

Para este caso debemos utilizar la ecuación de Nusselt. (ec. 73 de Badger).

$$h = 0.725 \sqrt[4]{\frac{K^3 \rho^2 g \lambda}{D \mu \Delta t}}$$

Los valores de  $K$ ,  $\rho$ ,  $\lambda$  y  $\mu$  se determinan a la temperatura media de la película.

$\Delta t$  se mide entre la temperatura de los vapores y la pared metálica.

Para determinar estas temperaturas, debemos considerar como primera aproximación que la resistencia de la película de vapor es de la misma magnitud que la de la película del líquido de alimentación y por tanto la temperatura de la pared metálica es intermedia entre la del vapor y la temperatura media del líquido:

$$t_m \text{ alim.} = \frac{20^\circ + 99^\circ}{2} = 60^\circ\text{C} \quad \delta \quad 108^\circ\text{F}$$

$$t \text{ metal} = \frac{108 + 212}{2} = 160^\circ\text{F}$$

La temperatura media de la película la consideramos intermedia entre la de la pared y los vapores:

$$t_m \text{ película} = \frac{160 + 212}{2} = 186^\circ\text{F}$$



A esta temperatura:

$$K = 0.363 \text{ BTU/hora (pie}^2) (\text{°F/pie})$$

$$\rho = 59.2 \text{ lb/pie}^3$$

$$\mu = 0.302 \text{ cp.} = 0.302 \times 2.42 = 0.731 \text{ (sist. lb-pie-hora)}$$

$$g = 4.18 \times 10^8 \text{ pie/hora}^2$$

$$D = \frac{3}{4} \text{ D ext.} = 0.0875'$$

$$\lambda = \frac{9692 \text{ cal/mol} \times 1.8}{\frac{100}{5.396}} = 940 \text{ BTU/Lb.}$$

Reemplazando en la fórmula:

$$h = 0.725 \sqrt[4]{\frac{0.363^3 \times 59.2^2 \times 4.18 \times 10^8 \times 940}{0.0875 \times 0.731 \times 52}}$$

$$h = 1725$$

Conocido los coeficientes, deberíamos corregir las aproximaciones hechas en la temperatura, dividiendo las caídas de temperaturas proporcionalmente a las resistencias individuales:

$$\text{Resistencia de la película de vapor} = \frac{1}{h_2 A_2}$$

$$\text{Resistencia del metal} = \frac{L}{K A \text{ prom.}}$$

$$\text{Resistencia de la película de líquido} = \frac{1}{h_1 A_1}$$

Así se determinaría una aproximación más acertada

de las temperaturas deseadas.

Pero, debido a que los manuales consultados no tienen mayores referencias sobre las características que necesitamos y las estimaciones que se hiciesen, estarían afectados de errores, que harían despreciable una segunda aproximación, tomaremos como valor de  $h$  el ya calculado:

$$h = \underline{1725}$$

Coefficiente de película del líquido de alimentación

Para este caso emplearemos la ec. (69) de Badger:

$$h = 0.0225 \frac{k}{D} \left( \frac{D u \rho}{\mu} \right)^{0.8} \left( \frac{C \mu}{k} \right)^{0.4}$$

Las características que aparecen se toman a la temp. media entre la de entrada y salida de la alimentación:

$$t_m = 108^\circ\text{F}$$

$$D = 0.0686'$$

$$K = 0.370 \text{ BTU/Hora (pie}^2\text{) (}^\circ\text{F/pie)}$$

$$\mu = 0.43 \times 2.42 = 1.04 \text{ (lb - pie - hora)}$$

$$\rho = 61.2 \text{ lb/pie}^3$$

$$u = \text{veloc. pie/hora} = \frac{435.3 \text{ Kg/hora}}{0.453 \text{ Kg/lb} \times 61.2 \text{ lb/pie}^3 \times 0.0037} = 4240 \text{ pie/hora.}$$

Reemplazando en la fórmula:

$$h = 0.0225 \times \frac{0.370}{0.0686} \left( \frac{0.0686 \times 4240 \times 61.2}{1.04} \right)^{0.8} \left( \frac{1 \times 1.04}{0.37} \right)^{0.4}$$

$$h = 0.0225 \times \frac{0.370}{0.0686} \times 2,400 \times 1.51 = 438$$

Cálculo de U, coeficiente total de transferencia de calor, en base del área exterior:

$$U = \frac{1}{\frac{D_2}{D_1 h_1} + \frac{D_2 L}{D_m K} + \frac{1}{h_2}}$$

$$D_m = \frac{D_2 + D_1}{2} = \frac{0.824 + 1.050}{2} = 0.937''$$

$$L = \text{esp.} = \frac{1.050 - 0.824}{2 \times 12} = 0.00942'$$

$$K = 15.1 \text{ BTU hora/pie}^2$$

$$h_1 = 438$$

$$h_2 = 1725$$

Reemplazando en la fórmula:

$$U = \frac{1}{\frac{1.050}{0.824 \times 438} + \frac{1.050 \times 0.00942}{0.937 \times 15.1} + \frac{1}{1725}}$$

$$U = \underline{239}$$

Area de calentamiento:

$$Q = UA \Delta t_m.$$

Cálculo de  $\Delta t_m$

Alimentación                      condensado

$$t_2 = 210^\circ\text{F}$$

$$t_1 = 86^\circ\text{F} \qquad 212^\circ\text{F}$$

$$\Delta t_m = \frac{(212 - 86) - (212 - 210)}{2.3 \log. \frac{212 - 86}{212 - 210}} = 30$$

$$A = \frac{136,000}{30 \times 239} = 19 \text{ pie}^2 \text{ de área exterior.}$$

Para tubería de  $3/4''$  diám. nominal, son necesarios: 3.637 pies de tubería para  $1 \text{ pie}^2$  de superficie exterior.

$$\text{Long. de tubería} = 3.637 \times 19 = 69 \text{ pies.}$$

No. de tubos necesarios, para una longitud de tubo de 6 pies.

$$\frac{69}{6} = 12 \text{ tubos.}$$

Luego se necesitará un precalentador de 3 pasos, de 4 tubos cada uno,  $3/4''$  diámetro y 6 pies de longitud por tubo.

#### CALCULO DEL CONDENSADOR

Como el calor transferido en el precalentador es insuficiente para condensar totalmente las 184 lbs moles/hora que destilan de la torre es necesario un condensador, con simple tubería, dentro del cual circula el agua de enfriamiento, condensándose los vapores en la pared exterior.

En este aparato se transfieren:

$$Q = 184 \times 9692 \times 1.8 = 3,136,000 \text{ BTU (Calor transmitido en el precalentador).}$$

$$Q = 3,200,000 - 136,000 = 3,064,000 \text{ BTU/hora.}$$

$$( \lambda = 9692 \times 1.8 \text{ BTU/lb mol) }$$

#### Agua de enfriamiento necesaria, y temperatura de salida

Usaremos tuberías horizontales de  $D = 1 \frac{1}{4}''$

$$\text{Area interior: } \frac{1.495}{144} = 0.0104 \text{ pie}^2$$

Velocidad del agua de enfriamiento: 12 pie/seg.

$$\begin{aligned} \text{gasto de lbs/hora} &= 0.0104 \text{ pie}^2 \times 12 \text{ pie/seg.} \times 60 \text{ lb/pie}^3 \times 3,600 \text{ seg/h.} \\ &= 27,000 \text{ lbs/hora.} \end{aligned}$$

Debe cumplirse la ecuación:

$$Q = c M \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{Q}{c M} = \frac{3064,000}{1 \times 27,000} = 113^\circ\text{F}$$

Temp. entrada es:  $70^\circ\text{F}$

Temp. de salida:  $70 + 113 = 183^\circ\text{F}$

### CALCULO DEL COEFICIENTE DE PELICULA DE LOS VAPORES CONDENSANDOSE

Es el mismo caso ya visto en el precalentador, e igualmente bastaría una sola aproximación:

Temp. de la pared, entre la temp. del agua y de los vapores:

$$t_{\text{agua}} = \frac{183 + 70}{2} = 127^\circ\text{F}$$

$$t_{\text{pared}} = \frac{212 + 127}{2} = 170^\circ\text{F}$$

Temp. de la película entre la de los vapores y de la pared:

$$t_{\text{pel.}} = \frac{170 + 212}{2} = 191^\circ\text{F}$$

A esta temperatura:

$$\begin{aligned}K &= 0.363 \\ \rho &= 59.1 \\ \mu &= 0.298 \times 2.41 = 0.7175 \\ g &= 4.18 \times 10^8 \\ \lambda &= 940 \text{ BTU/lb.} \\ \Delta t &= 212 - 170 = 42\end{aligned}$$

Utilizamos nuevamente la fórmula 73 de Badger,

$$\begin{aligned}h &= 0.725 \sqrt[4]{\frac{k^3 \rho^2 g \lambda}{D \mu \Delta t}} \\ h &= 0.725 \sqrt[4]{\frac{0.363^3 \times 59.1^2 \times 4.18 \times 10^8 \times 940}{0.138 \times 0.731 \times 42}} \\ h &= 1440\end{aligned}$$

Coeficiente de película del agua de enfriamiento

$$\begin{aligned}h &= 0.0225 \frac{K}{D} \left( \frac{D u \rho}{\mu} \right)^{0.8} \left( \frac{C \mu}{k} \right)^{0.4} \\ D &= \frac{1.38}{12} = 0.115' \\ \rho &= 61.6 \text{ lb/pie}^3 & t_m &= 127^\circ\text{F} \\ K &= 0.374 \text{ BTU/hora (pie}^2) (\text{°F/pie}) \\ \mu &= 0.526 \times 2.42 = 1.271 \text{ pie - lb. hora} \\ u &= 12 \text{ pie/seg.} \times 3,600 = 43,200 \text{ pie/hora} \\ C &= 1\end{aligned}$$

Reemplazando en la fórmula:

$$\begin{aligned}h &= 0.0225 \times \frac{0.374}{0.115} \left( \frac{0.115 \times 43,200 \times 61.6}{1.271} \right)^{0.8} \left( \frac{1 \times 1.271}{0.374} \right)^{0.4} \\ h &= 2380\end{aligned}$$

U en función del área exterior:

$$U = \frac{1}{\frac{D_2}{D_1 h_1} + \frac{D_2 L}{D_m k} + \frac{1}{h_2}}$$

$$D_m = \frac{1.66 + 1.38}{2} = 1.52'$$

$$L = \frac{1.66 - 1.38}{2 \times 12} = 0.01167$$

$$K = 15.1$$

Reemplazando en la fórmula:

$$U = \frac{1}{\frac{1.66}{1.38 \times 2380} + \frac{1.66}{1.52} \times \frac{0.01167}{15.1} + \frac{1}{1440}}$$

$$U = \underline{778}$$

Area de calentamiento (Area exterior)

$$A = \frac{Q}{U \Delta t_m}$$

$$\Delta t_m = \frac{(212 - 70) - (212 - 183)}{2.3 \log \frac{212 - 70}{212 - 183}} = \frac{113}{2.3 \log \frac{142}{29}}$$

$$= 71.4$$

$$A = \frac{3,064,000}{778 \times 71.4} = 55.3 \text{ pie}^2$$

Longitud de tubería:

Para tubería de  $D = 1 \frac{1}{4}"$ , son necesarios:

2.301 pies para dar 1 pie<sup>2</sup> de área exterior.

Long tubería = 55.3 x 2.301 = 127 pies.

Número de tubos necesarios para una longitud de tubo de 6 pies:

$$\frac{127}{6} = 21 \text{ tubos}$$

Luego se necesitará un condensador de 6 pasos con 4 ~~pasos~~ cada uno, 1 1/4" diámetro y 6 pies de longitud.

### CALCULO DEL ENFRIADOR DEL DESTILADO

Tipo del intercambiador.- De doble tubería; por la interior circula el condensado a enfriarse, y por el espacio anular, el agua de enfriamiento.

D del tubo interior: 1" diám. exterior 18 gage

D " " exterior: 1 1/2" " 16 "

Según nuestro balance de materias, destilan 407.5 kg/hora de composición: 4% ácido acético, 96% de agua.

Enfriamos de 212°F a 86°F (30°C)

C. espec. destilado = 0.99 cal/gr°C.

Calor a transferirse:

$$Q = 407.5 \times 0.99 (100 - 30) \times 4$$

$$Q = 113,000 \text{ BTU}$$

Agua de enfriamiento necesaria en flujo en contracorriente:

Temp. entrada: 70°F

" salida: 180°F

$$\Delta t = 110.$$



$$M = \frac{Q}{c \Delta t} = \frac{113,000}{1 \times 110} = 1030 \text{ lb agua/hora}$$

Velocidad del agua

$$\text{Area interior tubería de } 1 \frac{1}{2}'' = 1.473 \text{ pulg}^2$$

$$\text{" exterior " " } 1'' = \frac{0.785}{0.688} \text{ pulg}^2$$

$$\mu = \frac{1030 \text{ lb/hora}}{0.688 \text{ pie}^2} \times \frac{1}{3600 \text{ seg/hora}} \times \frac{1}{61.63 \text{ lb/pie}^3} = \sim 1 \frac{\text{pie}}{\text{seg.}}$$

144

Cálculo coeficiente de película en la tubería

interior:

Por tratarse de líquido enfriándose:

$$h = 0.0225 \frac{k}{D} \left( \frac{D u \rho}{\mu} \right)^{0.8} \left( \frac{c \mu}{k} \right)^{0.3}$$

$$D = 0.902'' \text{ diám. interior} = 0.0752'$$

$$k = 0.361 \text{ BTU/hora (pie}^2) (\text{°F/pie})$$

$$\rho = 61.1 \text{ lb/pie}^3$$

$$\mu = 0.390 \times 2.41 = 0.94 \text{ (pie - lb. hora)}$$

$$g = 4.18 \times 10^8$$

Estas características se han tomado a la temperatura media del destilado:

$$t_m \text{ dest.} = \frac{212 + 86}{2} = 149^\circ\text{F}$$

El gasto es:

$$\frac{407.5 \text{ Kg/hora}}{0.454 \text{ Kg/lb.}} \times \frac{1}{61.1 \text{ lb/pie}^3} = 14.7 \text{ pie}^3/\text{hora}$$

Area transversal de la tubería:

$$A = \frac{\pi}{4} (0.0752)^2 = 0.00445 \text{ pie}^2$$

Velocidad lineal:

$$\mu = \frac{14.7 \text{ pie}^3/\text{hora}}{0.00445 \text{ pie}^2} = 3300 \text{ pie/hora}$$

Reemplazando en la fórmula:

$$h = 0.0225 \times \frac{0.361}{0.0752} \left( \frac{0.0752 \times 3300 \times 61.1}{0.94} \right)^{0.8} \left( \frac{1 \times 0.94}{0.361} \right)^{0.3}$$

$$h = 0.0225 \times \frac{0.361}{0.0752} \times 2291 \times 0.1248 = \underline{30.85}$$

Coeficiente de película del agua de enfriamiento:

Empleamos:

$$h = 0.0225 \times \frac{K}{D} \left( \frac{D u \rho}{\mu} \right)^{0.8} \left( \frac{C \mu}{k} \right)^{0.4}$$

El agua circula por el espacio anular; D en este caso es 4 veces el factor de forma.

Factor de forma:

Diámetro exterior de la tubería exterior: 1.500"

2 veces espesor de la tubería = 2x0.065: 0.130

Diám.interior 1.370

Area interior de tubería exterior (1.37"D) 1.474 pulg<sup>2</sup>

" exterior " " interior (1" D) 0.785

Area espacio anular: 0.689 pulg<sup>2</sup>

$$\text{Factor de forma} = \frac{\text{Area transversal}}{\text{perímetro de área de cal.}} = \frac{0.689}{3.142 \times 12} = 0.01828$$

$$D = 4 \text{ veces el factor de forma} = 4 \times 0.01828 = 0.07312$$

$$K = 0.373$$

$$\mu = 0.535 \times 2.41 = 1.29 \quad \text{tm agua} = \frac{180 + 70}{2} = 125^\circ\text{F}$$

$$\rho = 61.63$$

$$C = 1$$

$$u = 1 \text{ pie/seg.} = 3,600 \text{ pies/hora}$$

Reemplazando en la fórmula:

$$h = 0.0225 \times \frac{0.373}{0.07312} \left( \frac{0.07312 \times 3600 \times 61.63}{1.29} \right)^{0.8} \left( \frac{1 \times 1.29}{0.373} \right)^{0.4}$$

$$h = 0.0225 \times \frac{0.373}{0.07312} \times 1910 \times 1.645$$

$$h = \underline{360}$$

Coefficiente  $U$  total:

En función del área interior tubería interior:

$$U = \frac{k}{\frac{1}{h_1} + \frac{D_1 L}{D_m K} + \frac{D_1}{D_2 h_2}}$$

$$D_1 = 0.902''$$

$$D_2 = 1''$$

$$D_m = \frac{0.902 + 1}{2} = 0.951''$$

$$= \frac{1 - 0.902}{2 \times 12} = 0.0041''$$

$$K = 15.1$$

$$h_1 = 30.85$$

$$h_2 = 360$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{30.85} + \frac{0.902 \times 0.0041}{0.951 \times 15.1} + \frac{0.902}{1 \times 360}}$$

$$U = \frac{1}{0.0324 + 0.00025 + 0.00251}$$

$$U = \underline{28.3}$$

$$\Delta t_m = \frac{(212 - 180) - (86 - 70)}{2.3 \log. \frac{212 - 180}{86 - 70}} = 23.2$$

$$\underline{\text{Area de calentamiento } A} = \frac{Q}{U \Delta t_m} = \frac{112,000}{28.3 \times 23.2} = \underline{172 \text{ pie}^2}$$

Longitud de tubería: Para D ext = 1", 18 gage, se tiene:

$$\text{Area por 1 pie de tubería} = 0.2360 \text{ pie}^2$$

$$\text{Long.de tubería} = \frac{172}{0.2360} = 730 \text{ pies}$$

“Número de tubos: Para una longitud de 12 pies.

$$\frac{730}{12} = 61 \text{ tubos}$$

Usaremos un enfriador de 4 pasos, 16 tubos cada uno, de doble tubería, Diám. tubería exterior 1 1/2", y 1" diám. tubería interior, con una longitud de 12 pies por tubo.

#### CALCULO DEL ENFRIADOR DEL PRODUCTO

$$\text{Se calculó que } W = 27.8 \text{ kg/hora} = \frac{27.8 \text{ kg/hora}}{0.454 \text{ kg/lb.}} = 61.2 \text{ lb/hora}$$

Tipo de Intercambiador: Doble tubería; el producto

circula en la tubería interior.

Calor a transferirse

Temp. entrada del prod. al intercambiador:  $t_1 = 118^\circ\text{C}$   $244^\circ\text{F}$   
" salida " " " " "  $t_2 = 86^\circ\text{F}$   $86^\circ\text{F}$   
 $\Delta t = 158^\circ\text{F}$

Calor específico:  $C_p = 1.5$

$$Q = 1.5 \times 61.2 \times 158 = 14,500 \text{ BTU/hora}$$

Lbs. agua por hora necesarios: El flujo es en contracorriente:

$$t_2 = 70^\circ\text{F} \quad \Delta t = 110^\circ\text{F}$$

$$t_1 = 180^\circ\text{F}$$

$$\text{lbs agua/hora} = \frac{Q}{c \Delta t} = \frac{14,500}{1 \times 110} = 132 \text{ lbs/hora}$$

Coefficiente de película del agua de enfriamiento:

Diam. nominal, tubería interior:  $3/4'' = 1.050$  diam. exterior  
y  $0.824''$  " interior

Diam. nominal tubería exterior:  $1 \frac{1}{4}'' = 1.660$  diam. exterior  
y  $1.380$  " interior

$$\text{Area interior tubería exterior} = 1.495 \text{ pulg}^2$$

$$\text{Area exterior tubería interior} = \frac{0.866}{0.629} \text{ pulg}^2 = \frac{0.00436}{144} \text{ pie}^2$$

$$\text{factor de forma} = \frac{0.629}{3.142 \times 1.050 \times 12} = 0.0159$$

$$D = 4 \text{ veces factor de forma} = 4 \times 0.0159 = 0.06315$$

$$h = 0.0225 \times \frac{h}{D} \left( \frac{D u \rho}{\mu} \right)^{0.8} \left( \frac{c \mu}{k} \right)^{0.4}$$

$$k = 0.373$$

$$\mu = 1.29$$

$$\rho = 61.63$$

$$t_m = 125^\circ\text{C}$$

$$u = \frac{132 \text{ lb/hora}}{61.63} \times \frac{1}{0.00436} = 490 \text{ pie/hora}$$

$$C = 1$$

Reemplazando en la fórmula:

$$h = 0.0225 \times \frac{0.373}{0.06315} \left( \frac{0.06315 \times 490 \times 61.63}{1.29} \right)^{0.8} \left( \frac{1 \times 1.29}{0.373} \right)^{0.4}$$

$$h = 0.0225 \times \frac{0.373}{0.06315} \times 343 \times 1.645$$

$$h = \underline{75}$$

Coeficiente de película del producto en la tubería interior:

$$t_m = \frac{244 + 86}{2} = 165^\circ\text{F}$$

$$D = \frac{0.824''}{12} = 0.0686'$$

$$\rho = 60.1$$

$$\mu = 0.63 \times 2.41 = 1.52$$

$$k = 0.301$$

$$C = 1.2$$

$$u = \frac{61.2 \text{ lb/hora}}{61 \text{ lb/pie}^3} \times \frac{1}{\frac{\pi}{4} (0.0686)^2} = 270 \text{ pie/hora}$$

$$h = 0.0225 \times \frac{0.301}{0.0686} \left( \frac{0.0686 \times 270 \times 60.1}{1.52} \right)^{0.8} \left( \frac{1.2 \times 1.52}{0.301} \right)^{0.3}$$

$$h = 0.0225 \times \frac{0.301}{0.0686} \times 195 \times 1.72 =$$

$$h = \underline{33.1}$$

Coefficiente total U de transferencia de calor

La calculamos en función del área interior de la tubería interior:

$$h_1 = 33.1$$

$$D_1 = 0.0686'$$

$$D_2 = \frac{1.050}{12} = 0.0875'$$

$$D_m = \frac{0.0686 + 0.0875}{2} = 0.07805$$

$$L = \frac{0.0875 - 0.0686}{2} = 0.0094$$

K = 119 BTU/hora (pie<sup>2</sup>) (°F/pie) para aluminio

$$h = \underline{75}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{33.1} + \frac{0.0686 \times 0.0094}{0.07805 \times 119} + \frac{0.0686}{0.0875 \times 75}}$$

$$U = \frac{1}{0.03025 + 0.0000694 + 0.01045}$$

$$U = \frac{1}{0.04077} = \underline{24.5}$$

Area de calentamiento: (área anterior de tubería interior)

$$A = \frac{Q}{U \Delta t_m}$$

$$t_m = \frac{(244 - 180) - (86 - 70)}{2.3 \log \frac{244 - 180}{86 - 70}} = 34.7$$

$$A = \frac{14,500}{24.5 \times 34.7} = \underline{17.1 \text{ pie}^2}$$

Para  $D = 3/4''$  4.637 pies de tub. = 1 pie<sup>2</sup> de área interna

$$\text{Long. tubería} = 17.1 \times 4.637 = 79.1 \text{ pies}$$

Número de tubos: Para una longitud de 6 pies por tubo:

$$\frac{79.1}{6} = 14 \text{ tubos}$$

Luego necesitaremos un enfriador de 4 pasos, de 4 tubos cada uno, doble tubería, de diámetro tub. exterior 1 1/4" y 3/4" diam. tubería interior, con una longitud de 6 pies por tubo.

---



RENDIMIENTO DE LA FABRICA

El rendimiento en la fermentación acética, no puede basarse en la simple fórmula de oxidación:



pues esta ecuación no refleja el proceso bioquímico, que hasta ahora no se acierta en aclarar.

Teóricamente, una mol. de alcohol produciría una mol. de ácido acético, pero este rendimiento no se alcanza nunca en la práctica, pues una parte de alcohol, o de ácido acético se emplean en la reconstrucción celular de las bacterias, o pierden en productos intermedios, y aún aunque no constantemente, se sobre-oxidan produciendo anhídrido carbónico.

A la par que estas pérdidas biológicas, tienen también cierta importancia las pérdidas industriales: evaporación de alcohol y ácido durante la fermentación, las pérdidas por agitación en los tanques de mezcla, las cuales son inevitables aún en las mejores instalaciones.

Por estas razones, el rendimiento promedio de los generadores de Frings es de 85 %, elevándose a algo más de 90 % en condiciones óptimas.

El rendimiento de la torre de destilación es de un 95%. De esto, podemos asumir un 80 % de rendimiento total en toda planta.

Es importante controlar regularmente el rendimiento de la fábrica, sobre todo en la fermentación donde influyen tantos factores. Ello se logra por medio de un control cualitativo y cuantitativo de la materia prima y producto y el aforamiento exacto de todos los toneles de la fábrica.

Una baja de rendimiento en la fermentación nos indicaría que hay escapes en el generador, o que existe un envenenamiento de las bacterias del generador, o puede ser indicación de cualquier otra anomalía.

#### CONTROL ANALITICO DE LA FABRICACION

En nuestras fábricas de ácido acético es importante hacer investigaciones analíticas de las primeras materias, y producto, particularmente la determinación de la proporción de alcohol y del ácido en la mezcla y la solución acabada.

Con la ayuda de este análisis químico controlamos la producción y rendimiento en los generadores.

Además es necesario hacer análisis del producto y del destilado en la torre de destilación para el control de esta operación.

La determinación del ácido acético se hará por valoración con solución normal de soda cáustica y fenolftaleína como indicador.

También se pueden emplear los aereómetros de vinagre que dan

la proporción porcentual del ácido, con bastante inexactitud; se emplean cuando se precisa tener rápidamente una idea somera de la acidez de las muestras del generador.

Para determinar la proporción de alcohol sólo existe un método efectivamente seguro: la destilación y la determinación subsiguiente del peso específico del líquido destilado por medio del picnómetro y una balanza de análisis. Del peso específico del destilado se deduce la proporción de alcohol (Tablas de Trelles).

Se puede reemplazar el picnómetro por medio del picnoaereómetro, con la misma exactitud y con la ventaja de la sencillez de las mediciones areométricas.

El líquido alcohólico cuyo p. esp. se quiere determinar, se introduce en el areómetro. Se flota el picnoaereómetro en tolueno (pues este líquido tiene la ventajosa propiedad de mojar marcadamente la varilla del aparato y permite así una lectura precisa de las indicaciones).

La altura de la parte sumergida y la altura del líquido de carga, nos hace deducir el p. específico del destilado, previa consulta a las tablas respectivas.

Es conveniente también hacer un análisis de los gases evacuados en el generador, para determinar la cantidad de anhídrido carbónico que pudiera haberse producido por una sobre-oxidación. Frings proporciona para esto una bureta de gases de Orsat; convenientemente modificada. Este análisis no es de mucha importancia.

## MATERIALES DE CONSTRUCCION EN EL EQUIPO DE ACIDO ACETICO

Debido a las propiedades altamente corrosivas del ácido acético, hay que tener especial cuidado en la selección de los materiales de construcción.

Antes, el metal preferido era el cobre, sobre todo en las columnas de destilación; pero debido al aumento en el precio del cobre, la industria productora de ácido acético construye ahora su equipo de varios metales, incluyendo acero, plata, aluminio y plomo. También se usa equipo de cerámica y caucho.

Los aceros inoxidable, especialmente los que contienen molibdeno, generalmente pueden usarse para todas las concentraciones del ácido a temperaturas normales.

Cuando las condiciones incluyen alta concentración del ácido y alta temperatura, deben usarse aleaciones de acero muy altas. Una de estas aleaciones es la llamada Worthite, que se usa en la fabricación de las válvulas y bombas. Las aleaciones llamadas Hastelloys B y C pueden usarse para todas las concentraciones de ácido acético a todas temperaturas con una pérdida de solo una milipulgada por año. Pero estas aleaciones son muy caras.

El aluminio se prefiere para altas temperaturas,

como por ejemplo, en alambiques y condensadores.

Equipo de este metal puede usarse para manejar concentraciones de 98 y 99.5 % a cualquier temperatura inferior a la de ebullición. El ácido concentrado sólo ataca ligeramente al aluminio y el efecto aumenta conforme al ácido se diluye. El equipo de aluminio también resiste el efecto del aire por lo que se le prefiere en vez del cobre en operaciones intermitentes.

El cobre, que fué el metal más usado en la producción del ácido acético, tiene aún aplicación muy extensa. Es posible controlar la corrosión del cobre hasta cierto grado, la cual se acelera con el aire, como puede notarse por la corta duración de equipo con escapes.

La plata se usa cuando se exige que el producto sea enteramente puro. Resiste a todas las concentraciones y a cualquier temperatura. Además, presenta las ventajas de sus excelentes características para intercambio térmico y la facilidad con que se puede fabricar en formas complicadas. El alto costo de este material, lo hace prohibido en nuestro proyecto.

El hierro rico en silicio no está limitado por la temperatura, concentración o pureza del ácido o aereación.

También se usa equipos de cerámica para los tanques y generadores. Se usa el caucho en revestimiento, pero en escala limitada porque se decoloran. El Saran se ha usado para sifones y tuberías cortas, pero se vuelve quebradizo a las al-

tas temperaturas. El Teflón ha dado excelentes resultados como empaquetadura para vástagos de válvulas que manejan vapores de ácido acético caliente. También se usa Karbite, acero forrado de vidrio, neoprene, madera y tántalo.

La tabla nos recomienda los materiales de construcción, para las diferentes partes del equipo. La primera materia nombrada, madera, es la más barata y deseada por sus largos años de vida y mínimo mantenimiento.

-----

MATERIALES DE CONSTRUCCION PARA EQUIPO DE FABRICA DE ACIDO ACETICO

Equipo	Para ácido débil		Para ácido concen- trado libre de aire, (frío ó caliente).
	En presencia de aire	Sin aire presente	
Tanques	Madera	Madera	Aluminio, acero inoxi- dable.
Tuberías	Acero inoxidable, Nos. 430 y 316, E- verdur, Herculoy, cobre vidrio, de cerámica.	Everdur, Herculoy, cobre, vidrio.	Acero inoxidable, No. 316, aluminio, vi- drio, cobre.
Válvulas	Worthite, Durirón, acero, inox No. 316 bronce de aluminio, Everdur.	Durirón, Everdur, bronce de aluminio.	Worthite, Durirón, ace- ro inoxidable No. 316, bronce de aluminio, aluminio.
Intercam- biadores de calor	Acero inoxidable No. 430, Everdur, Herculoy, vidrio.	Everdur, cobre y vi- drio.	Aluminio, acero inoxi- dable No. 316, Everdur, vidrio, cobre.
Bombas	Worthite, Durirón, Has- telloy B y C, acero inox. (de bajo en C y con molibdeno), bronce de aluminio, Everdur, Herculoy.	Worthite, Durirón, acero inoxidable, bronce de aluminio, Everdur, bronce.	Worthite, Durirón, ace- ro inoxidable (bajo en carbón, alto con molibdeno), bronce de aluminio.
Alambi- ques.		Cobre	Cobre, acero inoxida- ble 316, aluminio.
Tanques de reacción Condensadores			Durirón, acero, inoxi- dable, aluminio, cerá- mica, plata, vidrio, aluminio.

## VI PARTE

### CALCULO Y ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO

#### TANQUE DE DEPOSITO DE ALCOHOL

Tendrá una capacidad de 20,000 litros, para almacenar materia prima para más de 20 días de producción.

Forma: cilíndrica.

Diámetro: 3 m.

Altura:  $h = \frac{4 \times 20}{(3) \times} = 2.83 \sim 3 \text{ m.}$

Se hará de madera, 3" de espesor, debidamente curada e impermeabilizada, asegurada con zunchos de fierro fundido recubierto de material resistente al ácido.

#### 2.- TANQUES DE MEZCLA

Tendremos dos tanques, con capacidad de 50,000 litros cada uno para almacenar la mezcla para aproximadamente una semana de trabajo.

Diámetro: 4 m.

Altura: 4 m. (incluido el espacio para facilitar la mezcla.

Se harán de madera, 3" de espesor, debidamente curada e impermeabilizada.



3.- TANQUE PARA LA SOLUCION DE 4 % DE ACIDO ACETICO QUE DESTILA DE LA TORRE

Tendrá una capacidad de 20,000 lts. y servirá como tanque intermedio y de almacenamiento de la solución que destila del tope de la torre, antes de ser usada para preparar la mezcla.

Dimensiones y especificaciones iguales al item (1).

4.- BOMBAS PARA CARGAR LOS TANQUES DE MEZCLA

Tendrá las conexiones y accesorios para bombear el alcohol y la solución del destilado a los tres tanques de mezcla.

Además nos sirve para cargar el tanque de depósito de alcohol.

Altura: 14 pies.

Fricción:

Longitud aproximada de tubería: 20'

Equivalente por uniones y accesorios:

$$\frac{20'}{40'}$$

5 % fricción = 40' x 0.05 = 2 pies.

Carga total = 16 pies.

Asumimos para carga máxima total 20'.

Capacidad máxima: 60 G.P.M.

$$H.P. = \frac{H_t \times p. \text{ esp.} \times G.P.M \times 0.00223}{550 \times \text{ef.}}$$

P. esp. = 62.4 b/pie<sup>3</sup>.

Tendremos:

$$\text{H.P.} = \frac{20' \times 62.4 \times 60 \times 0.00223}{550 \times 0.5} \quad 0.606$$

Necesitamos entonces:

Una Bomba transportable, tipo centrífuga de 3/4 H.P., de corriente trifásica, 220 voltios, 60 ciclos, para una capacidad máxima de 60 G.P.M. y una carga total máxima de 20 pies.

Material: Worthite

Tuberías de jebe especial, de 2".

#### 5.- MEDIDOR DE FLUJO

Nos sirve para controlar el alcohol comprado, y para la preparación de las mezclas.

Capacidad: Por encima de los 6000 lts/hora, con su sistema de llaves para la distribución a los tres tanques de mezcla.

De material resistente al ácido (bronce estañado), tipo rotámetro, medidor de vidrio.

#### 6.- PREPARACION DEL NUTRIENTE

Un tanque de madera, 100 litros de capacidad provisto de un agitador, accionado por un motor de 1/5 H.P., para la preparación de la mezcla del nutriente.

Un tanque colector nutriente, 100 lits. de capacidad, de madera.

Una bomba de 1.6.P.M. capac. máxima y 15' carga total máxima: bomba centrífuga de 1/10 H.P.

#### 7.- BOMBA DE ALIMENTACION AL GENERADOR

Nos servirá asimismo de descarga de la solución terminada.

Capacidad máxima: 12,000 lts/hora.

Altura total máxima: 30 pies.

Usaremos:

Una bomba centrífuga de acero resistente al ácido, conectada a un motor trifásico, 220 voltios, 60 ciclos, de 2 H.P., tamaño No. 4, proporcionado por Frings, modelo K 10

#### 8.- GENERADORES

Necesitaremos dos generadores, con una producción diaria de 5000 lts. cada uno.

De las siguientes especificaciones.

Material: Madera de pino ó alerce de primera clase.

Espesor de 4" en las duelas y fondo.

Dimensiones:

990 Hl de capacidad

530 cm diámetro exterior en el fondo

510 cm. diámetro exterior en el tope

540 cm. altura exterior.

Duelas unidas por 17 cables de fierro de 1" de diámetro. (todo en condiciones desarmables).

El fierro fundido y las uniones, están cubiertos de material a prueba de ácido.

Los generadores están equipados con:

a) Un panel de observación, incluyendo empaquetaduras y lo necesario para su instalación en el tope del tanque.

b) Una lámpara a prueba de ácido para la iluminación del cuarto rociador.

c) Un medidor de flujo con llave para tres distribuciones, sistema de Frings, de bronce especial estañado, a prueba de ácido, vaso medidor, escala, soporte y cubierta de metal ligero.

d) Una unidad que consta de bomba y de ventilador, movidos eléctricamente. La bomba se usará en la recirculación de la mezcla, con una capacidad de 6000 lts/hora.

El ventilador es para la circulación forzada del aire dentro del generador. La unidad estará provista de un motor eléctrico de 1 H.P.

e) Un medidor de flujo que mide el flujo de la Bomba de recirculación. Capacidad: 6000 lts/hora. Construido de material a prueba de ácido, con llave para sacar muestras para los análisis.

f) Un medidor de flujo para el aire de oxidación que entre al generador.

Capacidad: 60 m<sup>3</sup>/hora, mínimo.

g) Un enfriador de 3 tubos de 12 m. de longitud total para el enfriamiento de la mezcla, los tubos internos de acero inoxidable. Con termómetros de control de la temperatura de entrada y salida del agua de enfriamiento. Además, un medidor de flujo para el agua fría.

Con los accesorios necesarios para conectarlos al aparato, y equipo necesario para la circulación del agua.

h) Un rociador de tres pasos, del sistema de Frings de acero inoxidable.

i) Tres termómetros angulares, con iluminación eléctrica en la escala:

Un termómetro de contacto a 28°C.

id. " " a 31°C.

id. doble contacto a 33/34°C.

j) Un equipo completo para recuperar el ácido acético con condensador y tubo de salida. El condensador equipado con un eyector de agua a presión (50 lts. por día).

Tubo de escape de 100 - 120 mm de diámetro rematado con campana.

k) Un equipo Frings Automaton para la regulación electromagnética, automática, de la temperatura de infusión y la cantidad de infusión, completo con todos sus accesorios, 1 filtro.

l) Material de relleno: usaremos virutas especiales

de haya,  $60 \text{ m}^3$  por generador.

$6 \text{ m}^3$  de tablas de madera para la construcción del falso fondo.

m) Tuberías de jebe especial, para las conexiones necesarias, con espitas de bronce estañado, tuberías de succión. tuberías de carga y descarga del agua de enfriamiento, etc,etc.

#### 9.- TANQUE COLECTOR

Capacidad: 200 lts.

Material: madera.

#### 10.- TANQUE DE VINAGRE

De una capacidad de 50,000 litros. Especificaciones iguales al item 2.

#### PLANTA DE CONCENTRACION DEL VINAGRE

En esta planta concentraremos la solución al 10% de  $\text{CH}_3\text{COOH}$  que sale de los generadores, hasta obtener un producto de 98 % en ácido acético.

#### BOMBA DE ALIMENTACION A LA TORRE

Entran a la torre: 435.5 kg/hora, solución al 10% de ácido acético ó sea: 436 lts/hora.

Usaremos una bomba centrífuga.

Material: acero resistente al ácido.

Carga total máxima: 60 pies.

Motor de 3/4 H.P. 220 voltios, 60 ciclos, trifásico.

TORRE DE DESTILACION.- Según los cálculos hechos en el Capítulo las especificaciones son:

Condiciones de trabajo: A presión atmosférica.

Material: Cobre ó acero inoxidable.

Altura de la torre: 44 pies.

Diámetro: 2 pies.

Número de platos: 22, tipo de copas (bubble cup).

También de cobre ó acero inoxidable.

Alambique: Está situado en el fondo de la torre.

Material: Cobre ó aluminio.

Tipo de calentamiento: Vapor indirecto, 100 lbs/pulg<sup>2</sup>, manométricas, circulando por tuberías.

Area calentamiento: 195 pie<sup>2</sup> (área exterior).

Son 225 tuberías de 2' de largo de 1 1/4 Diámetro nominal.

#### PRECALENTADOR DE LA ALIMENTACION

Material: Cobre ó acero inoxidable.

Area de calentamiento: 19 pie<sup>2</sup>

No. de tubos: 12 tubos

Longitud: 6'

Precalentador de 3 pasos, de 4 tubos cada uno.

Diámetro Nominal: 3/4"

Tubería simple.

### CONDENSADOR

Material: Cobre o acero inoxidable

Area de calentamiento: 56 pie<sup>2</sup>

No. de tubos 24, longitud: 6'

Condensador de 6 pasos de 4 tubos cada uno.

Diámetro Nominal: 1 1/4", tubería simple.

### CONTROL DE REFLUJO

Tanque de acero inoxidable, con medidor de flujo, para controlar el reflujo.

Medidor de flujo, con rotámetro de vidrio, con una capacidad de 1140 lts/hora.

### ENFRIADOR DEL DESTILADO

Tipo del intercambiador: De doble tubería por la interior circula el condensado a enfriarse y por el espacio anular el agua de enfriamiento.

MATERIAL: Tubería exterior: fierro.

Tubería interior: acero resistente al ácido.

Area de calentamiento: 172 pie<sup>2</sup> (área interior de tubería interior).

Número de tubos: 64 tubos.



Longitud: 12 pies

Enfriador de 4 pasos, 16 tubos cada uno, de doble tubería.

Diámetro tubería exterior: 1 1/2".

Diámetro tubería interior: 1".

### ENFRIADOR DEL PRODUCTO

Tipo: Intercambiador de doble tubería circulando el producto por la tubería interior y el agua de enfriamiento por el espacio anular.

Material: Tubería exterior; fierro.

Tubería interior: acero resistente al ácido.

Area de calentamiento; 17.1 pie<sup>2</sup> (área interior, tubería interior).

Número de tubos: 16 tubos.

Longitud: 6'

Enfriador de 4 pasos de 4 tubos cada uno.

Diámetro tubería exterior: 1 1/4" M.

Diámetro tubería interior: 3/4".

### TANQUE INTERMEDIO DEL PRODUCTO

Se recibirá aquí el producto antes de ser bombeado al tanque de depósito.

Capacidad: 200 litros

Material: madera.

BOMBA PARA TRANSFERIR EL PRODUCTO AL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Capacidad: 1 G.P.M. (g.p.m.)

Carga máxima: 14 pies

Usaremos una bomba centrífuga, 1/6 H.P., de Worthite, 220 voltios, 60 ciclos, trifásico.

TANQUE DEPOSITO DEL PRODUCTO

Capacidad: 10,000 lts.

Material: madera

Dimensiones:

Diámetro: 2.5 m.

Altura: 2 m.

Espesor: 2".

LABORATORIO

Es imprescindible en el laboratorio:

Una mesa de laboratorio (1.50 x 0.75 x 0.90) a prueba de ácido, provista de estantes suministro de agua y gas, mecheros y otros accesorios.

Un aparato de titración (Frings modelo grande), accesorios y repuestos, para la determinación de alcohol.

Un aparato de titración, pequeño (Frings modelo 53) para determinar pureza de ácido acético terminado.

## PLANTA DE VAPOR

Utilizaremos vapor de 100 lbs/pug<sup>2</sup> manométricas como fuente de calor indirecto en el alambique de la torre de destilación.

El calor latente del vapor a esas condiciones es de: 880.7 BTU/lb.

El calor necesario por hora en la torre: 3'300,000 BTU/hora.

Considerando 5% pérdidas en las tuberías: 3'465,000 BTU/hora.

$$\text{Lbs vapor/hora} = \frac{3'465.000}{880.7} = \underline{3940}$$

## SELECCION DEL CALDERO

Escogemos un caldero de una capacidad de 3940 lbs. vapor/hora, de 125 H.P., con 1200 pie<sup>2</sup> de área de calentamiento.

(Considerando que 33,000 BTU equivalen a 1 HP, y que 1 HP equivalen a 10 pie<sup>2</sup> de área de calentamiento, e incluyendo un factor de seguridad).

Será un caldero automático, Steam Pack, Modelo S. PH 76.

El caldero viene montado sobre una base de acero, con todas sus conexiones, puede instalarse en cualquier lugar.

Va equipado con:

Quemador de petróleo automático, York Shipley 20 HP.

Bomba de petróleo, con motor eléctrico de 1 H.P.

Sistema de alimentación con tanque de almacenamiento, con válvula y filtro.

Bomba de alimentación conectada a motor eléctrico de 3 H.P, 220 volts.

El sistema de alimentación incluye:

Tuberías con llave, conexiones y los filtros necesarios

Tanque de condensado.

Ventilador de tiro forzado, acoplado al motor del quemador.

Control electrónico de encendido.

Además:

Control automático del sistema de operaciones

Válvula de seguridad.

Inyector completo.

Transformador de 10,000 voltios, para el encendido eléctrico de petróleo.

Control del volumen de agua.

ABLANDAMIENTO DE AGUA.- Bajo el item de Gasto de Aguas, se ha deducido que por pérdidas por escapes, es necesario agregar 4,300 lts diarios como alimentación al caldero. Esta agua es necesario ablandarla.

El equipo escogido es de ablandamiento a base de Zeolita, de regeneración con salmuera.

Estará compuesto de 1 tanque de ablandamiento, 1 tanque regenerador de sal, con todas las tuberías de distribución y accesorios.

La unidad más pequeña es de 15 galones/minuto.

### CONSUMO DE PETROLEO

Usaremos petróleo Esso industrial, de un peso específico 7.4lb/gal; poder calorífico bruto 19344 BTU/lb y poder calorífico neto 18,114 B T U/lb.

Nosotros necesitamos:

$$\frac{3,465,000 \text{ BTU/hora}}{18,114 \text{ BTU/lb}} = 192 \text{ lb/hora pe-}$$

tróleo.

En galones por día, considerando una eficiencia de 0.8:

$$\frac{192 \times 24}{0.8 \times 7.4} = 770 \text{ gal/día petróleo.}$$

Gasto anual de petróleo: 231,000 galones/año.

El petróleo a utilizarse por día se almacena en un tanque elevado de fierro dentro de la sala de calderos con una capacidad de 800 galones (3m<sup>3</sup>) (1.8 x 1.8 x 1 m)

ALMACENAMIENTO DE PETROLEO.- La cantidad de petróleo a almacenar será la necesaria para 15 días de trabajo.

Se almacenarán en 2 tanques de fierro, colocados bajo el nivel del suelo.

Cantidad a almacenar: 12,000 galones

Capacidad del tanque: 6,000 galones

Dimensiones:

6,000 galones = 800 pies<sup>3</sup> aprox.

Para un diámetro de 10', la altura será:

$$h = \frac{800}{\pi \times \frac{(10)^2}{2}} = 10'.$$

Bomba para transporte de petróleo:

Llevará el petróleo de los tanques de almacenamiento, al tanque elevado, a 3 m, de la sala de calderos.

Capacidad máxima: 20 gal/min.

Carga máxima: 17'

Material de construcción: fierro fundido

Motor: 1/4 H.P. 220 voltios, trifásico, 60 ciclos,  
1750 RPM.

### GASTO DE AGUA

Según los cálculos hechos anteriormente, el agua necesaria sería:

- |   |                 |
|---|-----------------|
| a) Para el enfriamiento de la mezcla en los generadores, 2500 lts/hora por generador. | 5,000 lts/hora  |
| b) En el condensador: 27,000 lbs/hora   | 12,300          |
| c) Enfriador del destilado: 1030 lbs/hor.   | 470             |
| d) Enfriador del producto: 132 lbs/hora   | 60              |
|   | 17,830 lts/hora |

Agua por día necesaria:  $17,830 \times 24 = 427,000$  lts/día.

Esta agua se vuelve a usar, después de ser enfriada en la torre de enfriamiento. Considerando un 2 % por pérdidas de evaporación y derrames por día, será necesario agregar:

$$427,000 \times 0.02 = 8550 \text{ lts/día.}$$

Agua necesaria para el caldero:

Hemos visto que son necesarias: 3940 lbs vapor/hora  
ó  $3940 \times 24 = 94,500$  lbs/día.

El vapor una vez condensado, se vuelve a alimentar al caldero,

Considerando un 10 % por pérdidas por escapes, será necesario agregar por día:

$$94,500 \times 0.454 \times 0.10 = 4,300 \text{ litros/día.}$$

Luego, el agua necesaria por día:

Agua de enfriamiento	8,550 lts/día
Para el caldero	4,300
Servicios, limpieza, etc.	<u>6,000</u>
Total	18,850

O sea, aproximando, 20 m<sup>3</sup> diarios de agua.

Nos abasteceremos de los servicios de agua potable de la ciudad.

### TANQUE ELEVADO DE AGUA

El agua será almacenada en un tanque elevado a 10 m de altura, que proporcionará la carga necesaria para distribuir el agua para todas las operaciones.

Capacidad: 40 m<sup>3</sup> de agua.

Concreto armado, revestido e impermeabilizado.

Dimensiones: 4 m x 4 m x 2.5 m.

Bomba, para elevar el agua.

Centrifuga.

Material: fierro fundido

Capacidad: 80 G.P.M.

Carga total máxima: 14 m.

Motor de 2 H.P, 220 voltios, 60 ciclos, trifásico.

ACCESORIOS EN EL TANQUE.- Alarma automática cuando el agua llegue al nivel mínimo permisible y control de nivel conectado con el motor de la bomba.

TORRE DE ENFRIAMIENTO.- Será de madera, con ventilación natural. Servirá, para enfriar el agua de una temperatura promedio 120° F (aproximad.) a 65 - 70° F.

Se van a enfriar 17,830 lts/hora o sea:

Capacidad de la torre: 80 G.P.M.

Dadas las condiciones de temperatura y del aire, para una torre de 35' podemos tomar una concentración de agua de 2 gal/m pie<sup>2</sup> de área transversal:



$$\text{Area Transv. total: } \frac{80 \text{ gal/m}}{2 \text{ gal/mpie}^2} = 40 \text{ pie}^2.$$

Incluyendo un factor de seguridad tomaremos una sección rectangular: 6' x 8'.

El agua para ser enfriada y la ya enfriada se reciben en dos tanques de concreto de 5' x 5' x 3'. El agua enfriada es bombeada al tanque elevado, para su reuso.

Bomba para elevar el agua a lo alto de la torre

Material: Tipo: centrífuga.

Capacidad: fierro fundido 80 G.P.M.

Carga total máxima: 40'

Motor de 2 H P, 220 voltios, 60 ciclos, trifásico.

-----

CONSUMO DE ENERGIA

Los diferentes motores de la fábrica, consumen por día:

	Horas diarias de trabajo (Promedio)	H P diarias
1) Bomba de los tanques de mezcla y al macenamiento de alcohol, 3/4 H.P.	0.3	0.225
2) Motor agitador nutriente 1/5 H.P.	0.2	0.04
3) Motor bomba, tanque nutriente 1/10	0.2	0.02
4) Bomba de alimentación y descarga, del generador, 2 H P.	1	2.00
5) Motor de Bomba de recirculación de mezcla y del ventilador 1 H P	24	24.00
6) Bomba de alimentación a la torre de destilación.	24	18.00
7) Bomba de descarga del producto al depósito, 1/6 H.P.	3	0.5
8) Motor del quemador de petróleo 15 HP	24	360.0
9) Motor de bomba de alimentación petróleo, 1 H.P.	24	24
10) Motor de bomba de alimentación agua 3 H.P.	24	72
11) Bomba para transporte petróleo 1/4 H.P.	1.5	0.37
12) Bomba para elevar agua al tanque elevado. 2 H.P.	24	48
13) Bomba circulación de agua en torre de enfriamiento 2 H P.	24	48
14) Iluminación de la planta		20
		<hr/>
		689.115 HP hora.

O sea:  $689.115 \times 0.7455 = 514$  KW hora diaria

ó 15,420 KW hora mensuales

ó 154,200 KW hora anuales.

No será necesario instalar generador. Resulta más económico abastecernos de las E.E.

### TERRENO Y EDIFICIOS

La fábrica estará ubicada en la zona cercana a Barbones, donde existe facilidades de mano de obra, y de abastecimiento de agua y energía.

Según el plano de distribución, se ocupará un terreno de 45 x 50 m., con un área total de 2250 m<sup>2</sup> y contará con las siguientes secciones.

Pabellón principal (Oficinas y laboratorio)	150 m <sup>2</sup>
Generadores de Frings	130
Almacenes	125
Talleres	60.5
Planta de fuerza	60.5
Servicio de obreros	50

Además, un área de 150 m<sup>2</sup> que irá techado, y donde se ubicarán los diversos tanques de almacenamiento y mezclas y el equipo de destilación.

Se ha considerado en el terreno el espacio para ampliaciones futuras.

La fábrica será rodeada de un muro perimétrico de ladrillo de cabeza con pilastras de ladrillo cada 4 m, con cimientos de 40 x 80 (concreto ciclópeo 1: 10) y con sobrecimientos de 25 x 40 cm. (c.c 1:8).

El pabellón principal será de construcción tipo muro portante de ladrillo (paredes exteriores de 25 cm. e interiores de 15 cm.) con cimientos corrientes de 40 x 60. Las paredes van tarrajeadas con mezcla y terminada con yeso y pintura al óleo; pisos de loceta asfáltica. El laboratorio lleva locetas especiales resistentes al ácido. Techado aligerado de 17 cms. Dotado de los servicios necesarios.

La planta de vapor, talleres, almacenes y edificio de los generadores serán techados con tijerales de madera y eternit, muros de cabeza y piso de cemento coloreado.

El espacio para los tanques y equipo destilación irá techado con planchas de eternit y estructura de madera. El piso será de cerámica especial, resistente al ácido.

Además, se contará con las pistas necesarias para ingreso y movimiento de vehículos.

VII PARTE

ESTUDIO ECONOMICO DEL PROYECTO

COSTO ESTIMADO DE PRODUCCION

Materia Prima, Energía y Envase. Costos Anuales

ALCOHOL

246,000 lts. alcohol de 95% a \$ 2.00  
litro (libre de impuesto) puesto en fá-  
brica ..... \$ 492,000

AGUA

20 m3 por día, 6,000 m3 al año a  
\$ 0.10 m3. .... 600

PETROLEO PARA EL CALDERO

770 gal/diarios ó 231,000 gal/año. Petróleo  
Esso Industrial \$ 1.10 galón, puesto en  
fbca. .... 254,000

ENERGIA

15,420 kw hora mensuales, a \$ 0.26 kw-hora  
mensual, son \$ 4,000 mensuales, por año: 40,000

OTROS

Nutrientes, cultivos puros, lubricantes,  
etc. Estimado al año ..... 10,000

ENVASE

Damajuanas de vidrio, protegidas con caja  
de madera, 50 lts. de capacidad, a  
\$ 50.00 c/u. 4,000 necesarias ..... 200,000

Total materia prima y embalaje: \$ 996,600

COSTO ANUAL DE OPERACION

Personal necesario

Planta y Oficina

Empleados

Mensual

1 Gerente, Ing° Químico	4,000
1 Asistente, Ing° Químico	2,500
1 Contador	1,200
2 Auxiliares (\$.600 c/u)	1,200
1 Laboratorista	1,000
1 Jefe de almacenes	900
1 Mecánico	1,000

Total por mes: \$. 11,800

Annual: \$141,600

Obreros (3 turnos)

Salario Por día

3 Jefes de turno	25.00	75.00
1 portero	8.00	24.00
1 jefe destilación	15.00	45.00
1 Aydte.jefe destilación	9.00	27.00
1 calderero	20.00	60.00

\$.231.00

Obreros (1 turno)

1 ayudante de laboratorio	10.00
1 ayudante de mecánico	12.00
2 obreros adicionales para limpieza y otros menesteres \$. 7.00 c/u. ....	14.00

\$. 36.00

Total diario de obreros                     231.00  
  36.00

  \$ . 267.00

  Mensual: \$ .8,010.00

  Anual \$ . 96,120

RESUMEN:

Empleados                                     \$ . 141,600

1 mes de vacaciones                     11,800

1 mes de indemnización                 11,800                     . . . . .

3 % Seguro social                         4,248

  ..... 169,448

Obreros   96,120

1 mes de vacaciones e  
indemnización                     8,010

6 % Seguro Social                     5,767.2

Bonificación, timbres  
fondo salud y bienes-  
tar 25 %                             24,030                     ..... 133,927.2

Total Empleados y Obreros: \$ . 303,375.2

-----

COSTO DE MAQUINARIA Y EQUIPO

Según las especificaciones ya hechas.

Depósito de alcohol y mezclas.

1.-	2 Tanques de madera cilíndricos, 20,000 lts. de capacidad c/u.	
	\$. 9,000 c/u instalado .....	\$. 18,000
2.-	2 Tanques de madera cilíndricos, 50,000 lts. de capacidad c/u.	
	\$. 14,000 c/u instalado .....	28,000
3.-	1 Bomba centrífuga, acero inoxidable, de 3/4 H.P. y accesorios. ....	6,280
	10 % instalación .....	628
4.-	Un medidor de flujo 6,000 lts/hora, insta- lado .....	2,100
5.-	Preparación del nutriente :	
	a) tanque de madera, 100 lts. de capacidad, provisto de agitador y motor 1/5 H.P.	2,200
	10 % instalación .....	220
	b) Tanque de madera 100 lts. de capacidad	100
	c) 1 bomba centrífuga 1/10 H.P.	1,900
	10 % instalación	190
	Van .....	\$. 59,618.00



Vienen ..... \$ 59,618.00

FERMENTACION

- 1) 1 Bomba centrífuga, acero resistente al ácido, 2 H.P. .... \$ 10,500
- 10 % instalación ..... 1,050
- 2) 2 generadores de madera, \$ 45,000 c/u instalado ..... 90,000
- 3) Material de relleno 60 m<sup>3</sup> por generador, \$ 400. m<sup>3</sup> ... 48,000
- 4) Accesorios del generador:
  - 1 panel de observación
  - 1 lámpara de iluminación del cuarto rociador.
  - 1 medidor de flujo
  - 1 unidad bomba y generador, con un motor de 1 H.P.
  - 1 medidor de flujo de recirculación.
  - 1 medidor de flujo para el aire de oxidación.
  - 1 enfriador de 3 tubos, 72 m.largo total.
  - 1 rociador de tres pasos, acero inoxidable.
  - 3 termómetros angulares
  - 1 equipo completo de condensación de vapores, recuperación del alcohol y ácido.
  - 1 equipo Frings de regulación eléctrico magnético y accesorios, para 2 generadores. .... 190,000
  - 10 % de instalación ..... 19,000
- 5) Un tanque colector de madera, 200 litros de capacidad ..... 200
- 6) 1 tanque de madera, 50,000 lts.de capacidad ..... 14,000

V a n :

14,000

\$ 372,750.00

Vienen ... \$ 432,368.00

7) Planta de Concentración de vinagre:

1 Torre de destilación, 44 pies alto,  
2 pies de diámetro, 22 platos, de  
cobre .....

1 alambique de aluminio

1 precalentador de cobre

1 condensador de cobre

1 medidor de reflujo

1 enfriador del destilado

1 enfriador del producto

Tuberías y accesorios

Estimado en \$ 70,000 marcos ale-  
manes ..... 315,000

30% instalación y flete ..... 31,500 \$ 346,500.00

8) Bomba centrífuga, de acero resis-  
tente al ácido, de 3/4 H.P. (Worthite) 6,280

10 % instalación ..... 628

9) Tanque 200 lts. dec capacidad, de ma-  
dera ..... 200

10) Una bomba centrífuga, material re-  
sistente al ácido, 1/6 H.P. .... 3,400  
340

11) 1 Tanque de madera, 10,000 lts. de  
capacidad 4,500

12) 1 Balanza plataforma Toledo, 200 gr.  
de capacidad ..... 6,500

\$ 21,848.00

V a n : \$ 800,716.00

Vienen .... \$. 800,716.00

EQUIPO AUXILIAR

Planta de Vapor

1) 1 Caldero

120 HP, 100 lbs.pulg<sup>2</sup>/manométrica

Diferentes aparatos de control y accesorios ..... 140,000

30 % instalación y flete ..... 42,000

2) 1 tanque, petróleo elevado, 800 gal. fierro 1/4, control nivel, diferentes accesorios ..... 1,500

10 % instalación ..... 150

3) Equipo ablandador de agua a base de zeolita, con equipo regenerador, medidas de agua, conexiones y accesorios ..... 6,400

10 % instalación ..... 640

---

\$. 190,690.00

PLANTA DE AGUA

1) 1 Bomba centrífuga, 2 H.P. aparato control y accesorios (fierro fundido) ..... 6,200

10 % instalación ..... 620

2) Tanque elevado de agua, a 10 m.altura 5 m x 5 m x 25 m concreto armado, revestido é impermeabilizado.

Diferentes accesorios ..... 15,000 \$. 21,820.00

V a n: \$.1013,226.00

\$.1013,226.00

INSTALACIONES ACCESORIAS

1) Torre de enfriamiento, de madera 35' de altura, 6' x 8' sección transversal. Costo e instala- ción .....	\$. 8,800
2) 1 Bomba de Goulds, 2 H.P. 10 % instalación .....	6,200 620
3) 2 tanques de petróleo, de fierro cilíndricos, 10' de diámetro por 10' de altura, \$. 9,000 c/u ... 10 % instalación .....	18,000 1,800
4) 1 Bomba centrífuga, 1/2 H.P. .... 10 % instalación .....	2,900 290
5) 2 pozos concreto 5'x5'x3', \$. 1,000 c/u .....	2,000
6) Equipo de laboratorio .....	10,000
7) Equipo contra incendio .....	11,000
Equipo para taller .....	20,000
Tuberías, válvulas y cordones, es- timado .....	60,000
Moblaje para oficinas .....	28,000
	<hr/>
	\$. 169,610.00
T O T A L:	<u>\$.1'182,836.00</u>

COSTO DEL TERRENO Y EDIFICACION

Partida Especificaciones	Unid.	Cant.	Precio Unit.	Total P. Partida	Valor Total
<b>1) <u>OBRAS Preliminares</u></b>					
Instalación y replanteo			Estm.	10,000.00	10,000.00
<b>2) <u>Movt° de tierras</u></b>					
Excavación	m3	131.50	7.-	920.50	
Desmote	m3	131.50	8.-	1052.00	1,972.50
<b>3) <u>Cimentación</u></b>					
Cimientos de C.C. 1:10	m3	131.50	80.-	10520.00	
Sobrecimientos C.C.1:8	m3	18.20	120.-	2178.40	12,698.40
<b>4) <u>Pisos</u></b>					
Solado de concreto					
Pisos	m2	44.58	15.-	668.70	
Veredas			Estm.	4000.00	
Pistas suelo cemento	m2	400.00	22.-	8800.00	
Pisos de loseta asfáltica	m2	165.76	35.-	5801.60	
Pisos de loseta baños	m2	19.64	30.-	589.20	
Piso mayólica especial	m2	181.50	42.-	7623.00	27,482.50
<b>5) <u>Concreto Estructural</u></b>					
Columnas	m3	5.62	450.-	2529.00	
Dinteles	m3	72.96	350.-	2553.60	
Techos aligerados	m2	220.40	65.-	14326.00	19,408.60

Partida Especificaciones	Unid.	Cant.	Precio Unit.	Total P. Partida	Valor Total
<b>6) <u>Albañilería de ladrillo</u></b>					
Muros ladrillo de cabeza	m2	848.80	40.-	33952.00	
Muros ladrillo de soga	m2	91.70	25.-	2292.50	36,244.50
<b>7) <u>Tijerales y coberturas</u></b>					
Tijerales A	U	8	500.-	4000 .00	
Tijerales B	U	4	1500.-	6000.00	
Techo eternit	m2	429.00	25.-	10225.00	
Techo zona de tanques	m2	140.00	48.-	6720.00	27,445.00
<b>8) <u>Zócalos y Contrazócalos</u></b>					
Contrazócalos de madera	ml	55.60	6.-	333.60	
Contrazócalos de mayóli- ca .....	ml	30.60	8.-	244.80	578.40
<b>9) <u>Revoques</u></b>					
Tarrajeos de mezcla	m2	1174.00	8.-	9392.00	
Acabados en yeso	m2	698.00	3.50	2443.30	
Empastado yeso en te- chos .....	m2	220.40	7.-	1542.80	13,378.10
<b>10) <u>Carpintería General</u></b>					
Carpintería Metálica	m2	42.00	160.-	3720.00	
Carpintería de madera	m2	57.50	180.-	10350.00	17,070.00
<b>11) <u>Cerrajería</u></b>					
Chapas, visagras, etc.			Estm.		2,000.00
<b>12) <u>Ventanas</u></b>					
Marcos de Concreto P.f.	m2	137,50	35.-	4812.50	
Vidrios	Pie <sup>2</sup>	1490.00	4.-	5870.00	10,682.50

Partida Especificaciones	Unid.	Cant.	Precio Unit.	Total P. Partida	Valor Total
<b>12) <u>Instalación Eléctrica</u></b>					
Red y aparatos			Est.		10,000.00
<b>14) <u>Instalaciones Sanitarias</u></b>					
Instalaciones			Estm.		8,000.00
<b>15) <u>Aparatos Higiénicos</u></b>					
WC. tanque bajo	U	6	600.-	3600.-	
Lavatorios	U	7	500.-	3500.-	
Urinarios	U	3	450.-	1350.-	8,450.00
<b>16) <u>Pinturas</u></b>					
Al temple	m2	698.00	3.-	2094.-	
Al Oleo	m2	476.00	6.-	2856.-	4,950.00

TOTAL:

\$. 210,360.00

Costo de Construcción	\$. 210,360
Leyes Sociales S. S. 6%	12,621.60
Licencia Municipal	5,000.00
Conexión agua y desague	4,000.00
Conexión a la red eléctrica	3.000.00
Imprevistos .....	20,000.00
Administración y dirección técnica 10 % .....	21.036.00
	<hr/>
	293,017.60
Terreno 2250 m2, a \$. 30 m2 .....	67,500.00
	<hr/>
Total Terreno y Edificio:	\$. 360,517.60

RESUMEN

Materia prima, energía y envase	\$. 996,600.00
Mano de obra, supervisión, técnica y adm.	303,375.20
Maquinaria y equipo:	1'182,836
Terreno y Edificio	<u>360,517.00</u> 1'543,353.00

GASTOS FIJOS

Seguro edificio y maquinaria 1%	\$. 14,758.53
Depreciación de maquinaria 7%	82,798.52
" " edificio 3%	<u>8,790.53</u> \$. 106,347.58

COSTO ANUAL DE OPERACION

Materia prima, energía, envase	\$. 996,600.00
Mano de Obra y Supervisión	303,375.20
Gastos fijos	106,347.58
Mantenimiento y reparación de maquinarias 2%	23,656.72
Suministros a Oficinas y otros	10,000.00
	<u>\$. 1'439,979.50</u>

CAPITAL DE TRABAJO

Consideramos como capital de trabajo el suficiente para cubrir los gastos directos de operación durante 3 meses.

$$\text{Capital de trabajo} = \frac{\$. 1'439,979.50}{4} = \$. 359,997.37$$



CAPITAL TOTAL DE INVERSION

Maquinaria y Edificio	₡.1'543,353.00	
Capital de trabajo	360,954.00	
	<hr/>	₡.1'904,307.00

INGRESO BRUTO ANUAL:

A ₡. 8.50 el Kg. puesto en ₡.  
fábrica: 200,000 Kg.anuales 1'700,000.00

UTILIDAD

Ingreso bruto anual	₡.1'700,000.00
Costo anual de producción	1'439,979.50
	₡. 260,020.50

% de utilidad sobre el capital invertido:

$$\frac{260,020.50 \times 100}{1'904,307.00} = 13.7 \%$$

Lo cual nos indica que este proyecto es económicamente realizable.

NOTA:

Los precios del alcohol y del ácido acético son los que predominaron en el mercado local durante mediados del año 1954. Hay cierta tendencia a bajar en el precio del ácido acético; pues, se ha incrementado su producción por métodos sintéticos en E.U. y Gran Bretaña.

Por otro lado, también tiende a bajar el precio

del alcohol, debido a las limitaciones del mercado, y a la gran competencia de los productores.

OBSERVACION:

El concentrar una solución diluida de ácido acético por destilación binaria, trae consigo un consumo grande de vapor, pues, la cantidad de agua que hay que evaporar es muy grande, con relación al ácido acético de 98% obtenido.

Podría resultar más económico la extracción del ácido acético, de la solución que sale de los generadores, por medio de un solvente, acetato etílico por ejemplo, con recuperación del solvente.

La extracción se haría en frío, con flujos en contra corriente en la torre de extracción.

El solvente se recupera de la porción rica en ácido y de la solución acuosa mediante simple destilación. Pero por ser el solvente de punto de ebullición bajo la separación es fácil, y con un consumo de vapor mucho menor que en la destilación binaria. El ácido acético separado del solvente se purifica por destilación por cargas.

El equipo para la extracción, recuperación y purificación del solvente es costoso (\$ 82,000 F.OB) pero nos evitaríamos gastar una fuerte partida por combustibles.

La conveniencia de este método sobre la destila-

ción binaria, lo diría en estudio detallado de las operaciones y costos, que bien podría ser el tema de otro proyecto de grado.

-----

VIII PARTE

APENDICE

FABRICACION DE ACETATOS

Una de las principales aplicaciones del ácido acético es la fabricación de sus ésteres, principalmente los acetatos de etilo, propilo, isopropilo, butílico y amílico. Estos acetatos se usan en enormes cantidades como solventes en la industria de lacas.

Comprende este capítulo, un breve estudio sobre los métodos de esterificación y equipo. Es indudable que de fabricarse ácido acético en el país, se establecerían las industrias de acetatos. Este pequeño estudio tratará brevemente de los procesos de esterificación y del equipo a usarse.

ESTADISTICAS.- MERCADO

En el Perú se consumen apreciables cantidades de acetatos orgánicos como solventes en nuestras industrias de lacas. Según el cuadro de estadísticas, últimamente se ha estado importando alrededor de 100tons. anuales, con un importe que se acerca al millón de soles. Esta cantidad, que tiende a aumentarse, justifica la implantación de una pequeña fábrica, que bien podría estar instalada en nuestra misma planta

de ácido acético.

Estos solventes, casi en su totalidad, se emplean en Lima.

PRODUCCION OPTIMA.- Teniendo en cuenta el actual consumo, las futuras ampliaciones de mercado y las facilidades de materia prima, considero que la producción anual más conveniente sería:

Acetato de etilo 50 tons.

Acetato de butilo 50 tons.

Acetato de amilo 20 tons.

#### HISTORIA DE LA INDUSTRIA DE ESTERES

Los solventes orgánicos a excepción del alcohol etílico y metanol, tenían poco interés comercial, hasta 1914 y el comienzo de la Guerra Mundial. El acetato amílico en la forma de acetato del "fusel oil", era el éster que se utilizaba como solvente más conocido. Pero no era usado en grandes cantidades. La demanda de revestimiento para las telas en la fabricación de aeroplanos, trajo consigo la demanda de los solventes de acetato y nitrato de celulosa.

Inmediatamente después de la guerra, se incrementó enormemente la industria de nitrocelulosa, y aumentó igualmente la producción de acetato etílico.

El proceso por fermentación para producir acetona, produjo también enormes cantidades de alcohol butílico.

Además se ampliaron los métodos de producción de ácido acético especialmente el método de fermentación.

Fué entonces que se comenzaron a fabricar ésteres del ácido acético a partir del butanol, y alcohol amílico y mezclar estos solventes resultantes con nitrocelulosa con el fin de encontrar una sustancia formadora de película.

Además era necesario buscar un "adelgazador" de la nitrocelulosa, con el fin de obtener soluciones finales de baja viscosidad.

Poco a poco se fué desarrollando la industria de lacas, al adicionar a la solución de nitrocelulosa y ésteres, resinas naturales, diluyentes tales como hidrocarburos, agentes plasticizantes y pigmentos.

En ese tiempo los barnices y esmaltes usados en automóviles dejaban bastante que desear y se buscaba un producto que tuviera durabilidad. Los fabricantes de automóviles en los Estados Unidos estaban ansiosos de obtener un esmaltado que se- cara rápido, que fuese durable y que no se alterase al medio ambiente y que pudiera ser lavable y pulible, sin que se altera- se su superficie. La solución de ésteres con la nitrocelulosa los productos ya mencionados, parecía solucionar el problema. La película se formaba por evaporación y la nitrocelulosa pig- mentada era aparentemente resistente a la luz, a las condicio- nes atmosféricas en general. Además su aplicación podía lle- varse a cabo en cuestión de minutos, mientras que la de los

barnices antiguos tenían que ser de varias capas, requiriendo varios meses.

Esta ventaja de las nuevas lacas resultaba muy económica y fué muy apreciado por los fabricantes de automóviles y de diferentes artículos.

Fué necesario desarrollar, primeramente el método de esterificación, de tal modo que pudiera producirse los acetatos en forma eficiente y en cantidades industriales. El desarrollo de los procesos de esterificación no fué hecho en un momento; al contrario, fué necesario muchos años para llegar a la perfección de los métodos actuales.

### REACCIONES QUIMICAS

La reacción en general es:



Esta reacción había sido ya trabajada y estudiada por Berthelot y St Gilles en 1862. Ellos descubrieron en general que se trataba de una reacción de equilibrio, en el que se encontraban apreciables cantidades de alcohol y éster en las condiciones de equilibrio.

Esto resultó de gran importancia comercial, pues se dedujo que para obtener un rendimiento de 100 % (con relación a las cantidades de ácido acético y la de éster formado) es sólo necesario añadir un exceso de alcohol y de remover del lugar

donde se realiza la reacción el acetato y el agua formado tan pronto como se vayan formando.

Estrictamente hablando esto era imposible hacerse en los métodos comerciales ya que debido a que se forman mezcla azeotrópicas, parte del alcohol se remueve juntamente con el éster y agua. Apareció entonces la idea de realizar tal reacción dentro de una columna de fraccionamiento ordinaria.

Investigadores posteriores, al principio del siglo XX descubrieron que un catalizador, tal como el ácido sulfúrico, aumentaba la velocidad de esta reacción, pero debía estar presente sólo en pequeñas cantidades, 1 % por ejemplo, Se creyó en un principio que como se producía agua en la reacción, el ácido sulfúrico en grandes cantidades podría actuar como un deshidratante mejorando así el rendimiento de la reacción.

Desafortunadamente el ácido en grandes cantidades tiene la tendencia de deshidratar el alcohol y producir productos secundarios. En cambio, al usarse como catalizador y en pequeñas cantidades, estos sub-productos aparecen muy raramente.

Otro descubrimiento científico relacionado con la esterificación, fué hecho a principio del siglo, pues se encontró que en el caso de los alcoholes ordinarios, como el etílico, el grupo hidroxilo no se separaba del alcohol sino del ácido. O sea que se unían un hidrógeno del alcohol con un grupo oxi-



drilo del ácido para formar agua.

Más tarde se descubrió, que en el caso de alcoholes terciarios tal como el alcohol amílico terciario, el grupo oxidrilo del alcohol se separa en lugar del hidrógeno.

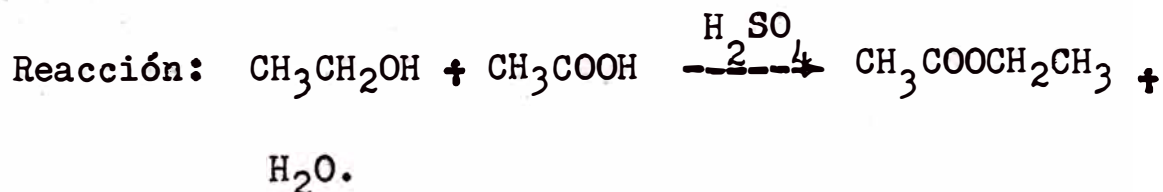
Esto explica porque es difícil obtener cloruro de etilo, a partir de alcohol etílico y ácido clorhídrico, mientras que es bastante, simple obtener cloruro del alcohol amílico terciario tratándolo con ácido clorhídrico.

Asímismo es mucho más sencillo formar el acetato etílico partiendo de alcohol etílico y ácido acético y resulta comparativamente más difícil obtener el acetato amílico, partiendo del alcohol amílico terciario y el ácido acético.

#### METODOS DE ESTERIFICACION. EQUIPO

Diferenciamos dos métodos: el método de "batches" y el método continuo. Este último método es más provechoso en el caso del acetato etílico, pues permite una mejor separación del éster del alcohol y agua de reacción. En el caso de los acetatos butílicos y amílico, que son más bien poco solubles en agua, su separación es más sencilla, por tanto, es más recomendable el método de batches o cargas, sobre todo en el caso de producciones pequeñas.

ACETATO DE ETILO



Rendimiento: 99 %.

Materias primas:

Base: 1 ton acetato de etilo (1000 kg).

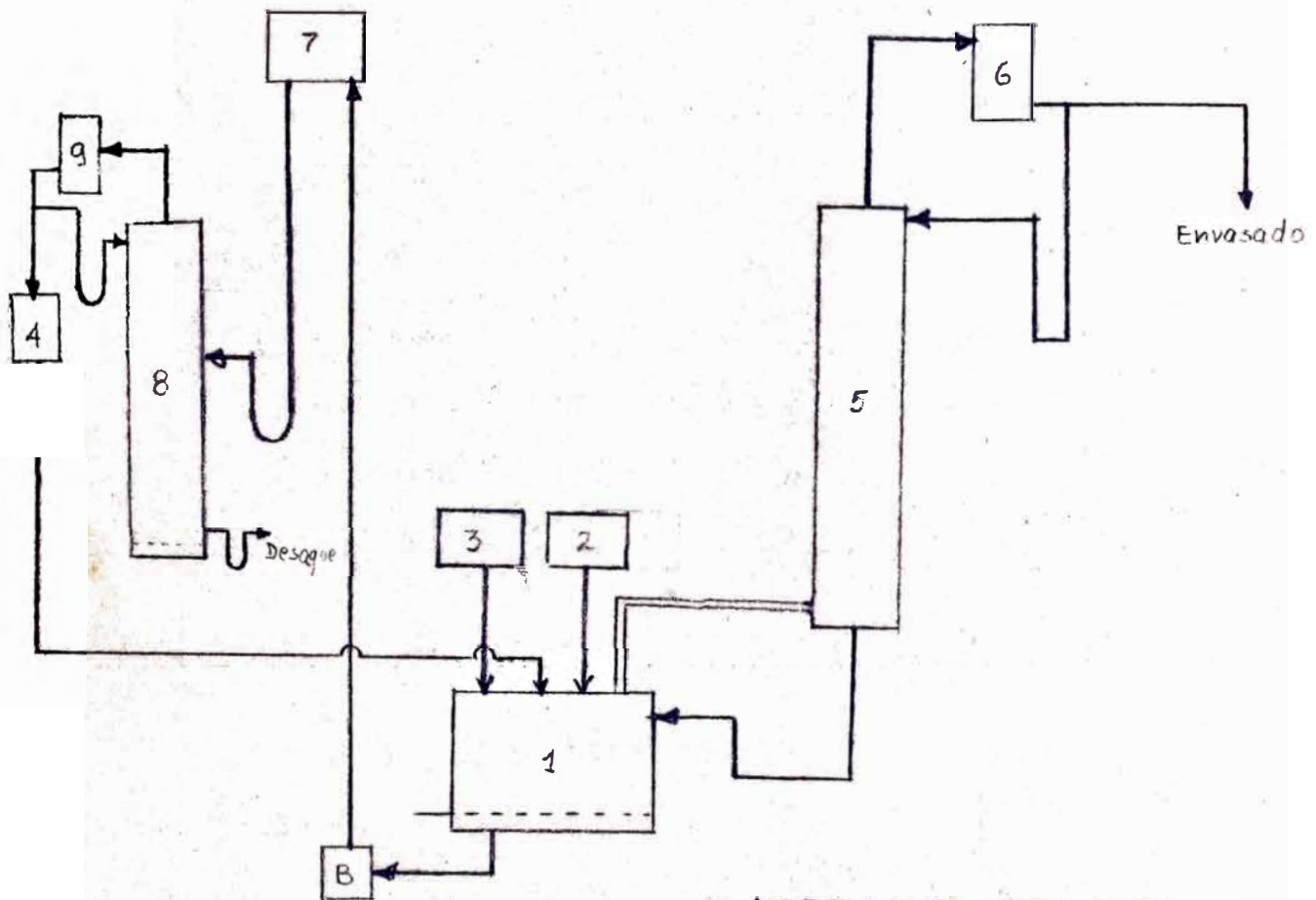
Alcohol etílico	(95%)	620 kg.
Acido acético	(100%)	688 kg.
ó Acido acético	(8%)	8625 kg.
Acido sulfúrico	(66°Bi)	8 á 60 kg.

ESTERIFICACION.- METODO DISCONTINUO DE CARGAS

El esquema No. 5 nos indica el diagrama de flujo de este proceso.

La cámara de esterificación, 1, consiste de un tanque cilíndrico que tiene una tubería cerrada por donde circula vapor. El tanque 2, contiene una solución al 8 % de ácido acético. El tanque de almacenamiento 3 contiene ácido sulfúrico de 50-66° Bé de concentración; el tanque de almacenamiento 4 contiene alcohol etílico de 95 %.

El ácido acético, alcohol y ácido sulfúrico se mezclan en el alambique 1 (en las proporciones arriba indicadas: 60 partes en peso de alcohol, diez de ácido sulfúrico y 0.33



ACETATO ETILICO  
METODO DE CARGAS

ESQUEMA N° 5

- |                        |                          |
|------------------------|--------------------------|
| 1. - Alambique         | 5. - Col. Fraccion.      |
| 2. - Tang. $H_2SO_4$   | 6. - Condensador         |
| 3. - Tang. $CH_3COOH$  | 7. - Tanque alcohol dil. |
| 4. - Tang $CH_3CH_2OH$ | 8. - Colum. Fraccion.    |
|                        | 9. - Condensador         |

partes de ácido sulfúrico). Los vapores generados en la cámara debido al calor del vapor, pasan a la columna de fraccionamiento 5.

El fraccionamiento en la columna se lleva a cabo de tal modo que la temperatura en el último plato, o tope de la columna, sea de aproximadamente 70°C que es el punto de ebullición a presión atmosférica, de una mezcla azeotrópica de acetato de etilo, alcohol y agua en las proporciones: 83% de acetato de etilo, 9 % de alcohol y 8 % de agua, aproximadamente.

El reflujo, o líquido de la columna se recicla al alambique.

Los vapores del tope de la columna pasan a un condensador, 6, de donde una parte se refluja a la columna y el resto pasa al tanque de almacenamiento del producto.

La reacción se lleva a cabo en la cámara 1, hasta que la esterificación sea completa; el alcohol, ácido sulfúrico y agua (el ácido acético ha sido enteramente consumido), se bombea de la cámara 1 a un tanque 7 de almacenamiento.

Esta mezcla se introduce a la columna de recuperación 8 que es una columna de diseño similar a la 5, solo que en el fondo de la columna se le inyecta vapor vivo. La separación dentro de la columna es tal que el agua y el ácido sulfúrico son extraídos por el fondo y se botan al desagüe.

La composición en el tope de la columna es aproximadamente 95% de alcohol. Los vapores del tope de esta columna

se condensan en el condensador de reflujo, 9, donde parte se recicla a la columna como reflujo. El resto del condensado pasa al tanque de almacenamiento 4, de donde puede ser nuevamente usado en la esterificación.

Prácticamente nada de acetato de etilo se recicla a la cámara 1, pues es totalmente removido dentro de la mezcla ternaria azeotrópica por el tope de la columna 5. Este hecho aumenta la eficiencia del proceso, ya que la velocidad de reacción aumenta en el alambique al removerse constantemente uno de los cuerpos producidos. Y durante toda la operación hay un gran exceso de alcohol etílico en la cámara de reacción, lo cual también influye en la velocidad de esterificación.

Este proceso podemos usarlo en la fabricación de ésteres similares, como el acetato metílico por ejm. donde también se aprovechan los principios fundamentales y características de la esterificación en general.

El producto de nuestro proceso no es acetato etílico puro, sino una mezcla ternaria azeotrópica. Para los propósitos comerciales, esta mezcla de 83 % acetato etílico, 9% alcohol y 8 % de agua resulta satisfactoria.

En el caso de necesitarse acetato etílico puro, sería necesario utilizar un método para romper la mezcla de punto de ebullición constante, para que así pueda ser aislado. Esto se ha llegado a lograr en el método continuo de esterificación.

PROPIEDADES.- Fórmula:  $\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3$  .

Es un líquido incoloro, inflamable, con un olor fragante.

P. m. = 88.10      Punto de fusión = - 82.4°C

P. específico = 0.901, 20°C      P. ebullición = 77.1°C.

Soluble en alcohol, éter y cloroformo. Ligeramente soluble en agua (8.5 gr./100 gr. a 15°C).

USOS: Principalmente, como solvente de nitrocelulosa, barnices, lacas y para telas de armazón en los aeroplanos; manufactura de la pólvora sin humo, cueros artificiales, película fotográficas, seda artificial, perfumes, etc. Además tiene usos medicinales variados.

Grados: Comercial 85 - 88%; 95 - 98 % puro y anhidro.

#### CONSIDERACIONES SOBRE EL EQUIPO

Para nuestra producción, relativamente pequeña, sería suficiente el método de cargas, en lugar del método continuo. Además el equipo puede ser utilizado, en parte, en la fabricación de los acetatos amílico y butílico.

Un alambique de 2,000 galones, equipado con una columna de fraccionamiento puede darnos 1000 lbs. de éster por día de operación.

El equipo sería de cobre y constaría de las siguientes partes:

1.- Un alambique, con tuberías de calentamiento (Vapor indirecto).

2.- Una columna de fraccionamiento, donde separamos al éster.

3.- Un condensador.

4.- Equipo de recuperación de alcohol:

a. Tanque de almacenamiento de la solución que queda en el alambique.

b. Una bomba para elevar la solución al tanque.

c. Una columna de fraccionamiento, con vapor vivo y condensador de reflujo.

Además es necesario:

5.- Un tanque almacenamiento de alcohol etílico.

6.- Un tanque de ácido acético.

7.- Un tanque para ácido sulfúrico de 66° Bé (madera, revestido de plomo).

8.- Un tanque almacenamiento del producto.

Este equipo como veremos después, puede construirse

con otros aparatos para la producción de los acetatos poco solubles en agua.

### ACETATO DE BUTILO.- METODO DE CARGAS

El alcohol butílico, así como su respectivo acetato son bastante insolubles en agua. Esta insolubilidad es una ventaja pues simplifica el proceso por cargas en la esterificación.

El esquema 6 muestra el proceso a seguirse con provechosos resultados.

La figura No. 6 nos muestra: un alambique 1, una columna de fraccionamiento ordinario 2, un condensador de reflujo 3, un condensador total 4 y una torre de separación 5.

### MATERIAS PRIMAS

El ácido acético que se emplea debe ser concentrado; se puede usar desde 80 %, aunque a mayor concentración, el tiempo de reacción es menor. En nuestro caso usamos ácido acético de 98 %.

Base: una tonelada de acetato de butilo.

Alcohol butílico (normal) 712.5 Kg.

Acido Acético 98 % 560 Kg.

Acido sulfúrico 66° Bé 2-8 lbs.



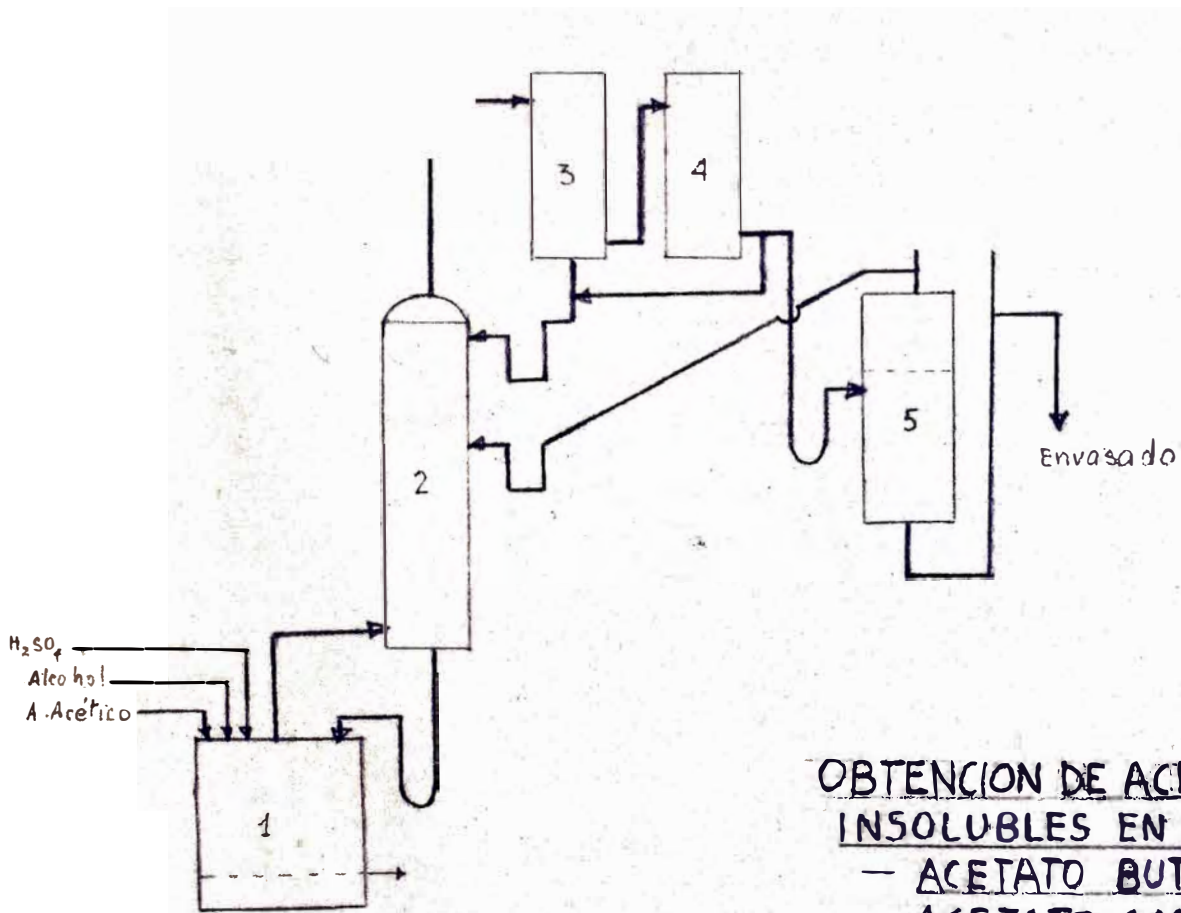
PROCEDIMIENTO.- Se mezclan el alcohol butílico, el ácido acético y el ácido sulfúrico en las proporciones indicadas, en la cámara 1. Se hace llegar a un estado de equilibrio calentándolo por varias horas. Cualquier vapor que pasase a la columna, se condensa y regresa al alambique.

Después de este calentamiento preliminar, comienza una rectificación en forma lenta, con el fin de remover la mayor cantidad, de agua y aumentar así la velocidad de reacción.

La temperatura debe haber llegado a 89°C en el tope y se mantiene a esa temperatura. Los vapores se condensan en 3 y 4, pasando una parte como reflujo a la columna y el resto a la torre de separación 5, donde se separan dos capas; la capa de encima de aspecto aceitoso contiene cerca del 75% del destilado y está formado por 81 % de éster, 13 % de alcohol y 6 % de agua. Esta capa aceitosa se regresa continuamente a la columna de fraccionamiento. La capa inferior contiene 1 % de éster, 3% de alcohol y 96% de agua, que se bota, pues no resulta económico recuperar el éter y alcohol.

Al final de la destilación la cantidad de agua disminuye notoriamente y la temperatura en el tope sube. La proporción del reflujo se aumenta hasta que no haya más agua presente en el destilado que nos indica que se ha completado la esterificación.

Antes de continuar la destilación, con el fin de obtener un producto más o menos puro, es necesario neutralizar



**OBTENCION DE ACETATOS  
INSOLUBLES EN AGUA**  
 — **ACETATO BUTILICO** —  
 — **ACETATO AMILICO** —

- 1. Alambique
- 2. Columna Fraccionam.
- 3. Condensador
- 4. Condensador
- 5. separador

**ESQUEMA N° 5**

la pequeña cantidad de ácido acético que pudiera haber quedado; la neutralización se hace con una solución de soda cáustica. La mezcla se deja descansar para que se forme una capa de agua, que se separe. El éster, la capa aceitosa, se lava y se vuelve a destilar obteniéndose un producto de 80 - 85% de acetato butílico siendo el resto alcohol. Cuando es necesario un acetato butílico más puro, se añade algo más de ácido acético, y se sigue el proceso.

### Propiedades

Fórmula:  $\text{CH}_3 \text{COO CH}_2 \text{CH}_2 \text{CH}_2 \text{CH}_3$

Es un líquido incoloro, de olor a frutas.

P.m: 116.16

P.F = 76.8°C.

gran. específica: 0.882(20°C) P.E = 126,5°C.

peso por galón: 7.291b(20°C)

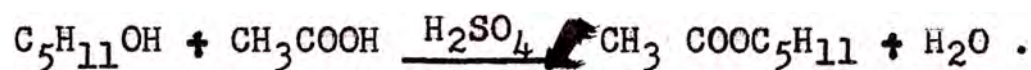
Soluble en alcohol y éter en todas proporciones, a temperatura ambiente. Ligeramente soluble en agua (0.7gr/100g a 20°C).

<u>Grados</u>	Comercial 80 - 85 %.
	Técnica 90 - 92 %
	Puro 98 - 99 %

Usos.- Manufactura de lacas, cuero artificial, películas fotográficas, plásticas, vidrio de seguridad, etc.

## ACETATO AMILICO

### Reacción



90% de rendimiento.

### Materias primas

Base: 1 ton de acetato amílico.

Alcohol amílico (normal) 800 kgs.

Acido acético 98 % 524 kgs.

Acido sulfúrico 66° Bé 1-4 kgs.

PROCEDIMIENTO.- Por ser también poco soluble en agua, el procedimiento de esterificación es teóricamente idéntico que el del acetato de butilo.

Deben hacerse ciertas modificaciones que dependen del tipo de alcohol a usarse. El alcohol amílico primario reacciona más rápidamente que los alcoholes secundario y terciarios.

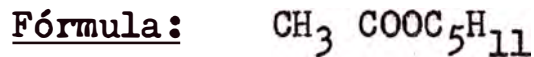
La mezcla de los productos mencionados, se calientan en el alambique a reflujo por varias horas. Cuando al temperatura en el tope de la columna llega a 95°C, destila una mezcla azeotrópica ternaria (10.5% éster, 33.3% alcohol y 56.2% de agua) que pasan al separador, donde se remueve el agua.

Cuando han sido separados todo el agua y casi todo el alcohol, destila el acetato amílico que es almacenado.

El acetato de amilo comercial puede tener 85-88% éster.

En la fabricación de acetato de amilo, podemos emplear el fusel oil, que es un subproducto en la manufactura de alcohol etílico por fermentación y que es una mezcla de alcoholes, cuyos principales componentes son el alcohol isoamílico y el amílico normal. El producto resultante de la esterificación del "fusel oil", es muy aceptable, desde el punto de vista comercial.

Propiedades:



Es un líquido incoloro, de un olor a peras o plátanos.

Peso molecular: 130.18      Punto de Fusión: 70.8°C

Peso específico: 0.879 20°C

Punto de Ebullición: 148.4°C

Punto de inflamación (recipiente cerrado) 77°F

Temperatura de ignición: 750°F.

Densidad dev vapores (aire = 1) 4.49.

Grados.- Los acetatos normales y anamílicos y sus mezclas se venden en cuatro grados:

Comercial de	85-88%	con un punto de inflamación	63-70°F.
De alta prueba	85-88%	" " " " "	84°C.
Técnico	90-95%	" " " " "	79°F.
y Puro	95-99%	" " " " "	77°F.

Usos.- En la industria de cueros artificiales.

Como solvente de pinturas, taninos, nitrocelulosa, lacas, celuloide y alcanfor; como cubridor de malos olores; manufactura de seda artificial, cueros, películas fotográficas, cementos de celuloide, barnices a prueba de agua; teñido y terminado en textiles.

#### EQUIPO A USARSE

Los esquemas 5 y 6 nos muestran el conjunto de aparatos en la esterificación del etílico y de los acetatos butílicos y amílico.

Del equipo para la fabricación delm éster etílico, podemos usar para los ésteres amílico y butílico:

Tanque de Acido Acético

Tanque de Acido Sulfúrico

Alambique con tuberías calentamiento que nos sirve de cámara de reacción.

Columna de fraccionamiento y condensador

Además, es necesario agregar para este caso:

- 1.- Un segundo condensador, para condensar completamente los vapores.
- 2.- Una torre de separación.
- 3.- Tanque Almacenamiento de alcohol butílico
- 4.- Tanque almacenamiento de alcohol amílico
- 5.- Tanque almacenamiento de acetato de butilo
- 6.- Tanque almacenamiento de acetato de amilo.

Los tanques de alcoholes y ácido acético pueden ser de madera.

Los tanques de depósito de éster amílico y etílico pueden ser de fierro fundido (al Niquel).

El tanque de depósito de acetato butílico será de acero inoxidable.

Los envases del producto, serán damajuanas de vidrio para todos los casos.

#### TIPOS DE COLUMNAS USADAS EN LA ESTERIFICACION

Los requisitos básicos de una columna o torre usada en la esterificación son más o menos los mismos requisitos de

una columna de fraccionamiento. Todo el calor se suministra en el fondo y toda la condensación se realiza en el tope. No habría transferencia de calor a través de las paredes de la columna.

Es necesario que haya un íntimo contacto entre el vapor y el líquido. El plato de copas (bubble-cap), es el más apropiado en la mayoría de los casos. Es también de importancia el sello del líquido en cada plato. Es realmente difícil determinar la cantidad de reflujo y la velocidad del vapor, y como se tratan de mezclas ternarias, la destilación es complicada. Los mejores datos les dan la misma experiencia.

El número que se necesitan de platos es algo que no puede ser calculado. Se aconseja colocar mas platos que los que se han encontrado necesarios para la separación sencilla de las mezclas binarias. Se acostumbra hacer experimentaciones en columna de 50 platos, tomando los resultados de varias operaciones y con ellas sacar un estimado aproximado del número actual de platos en una unidad comercial.

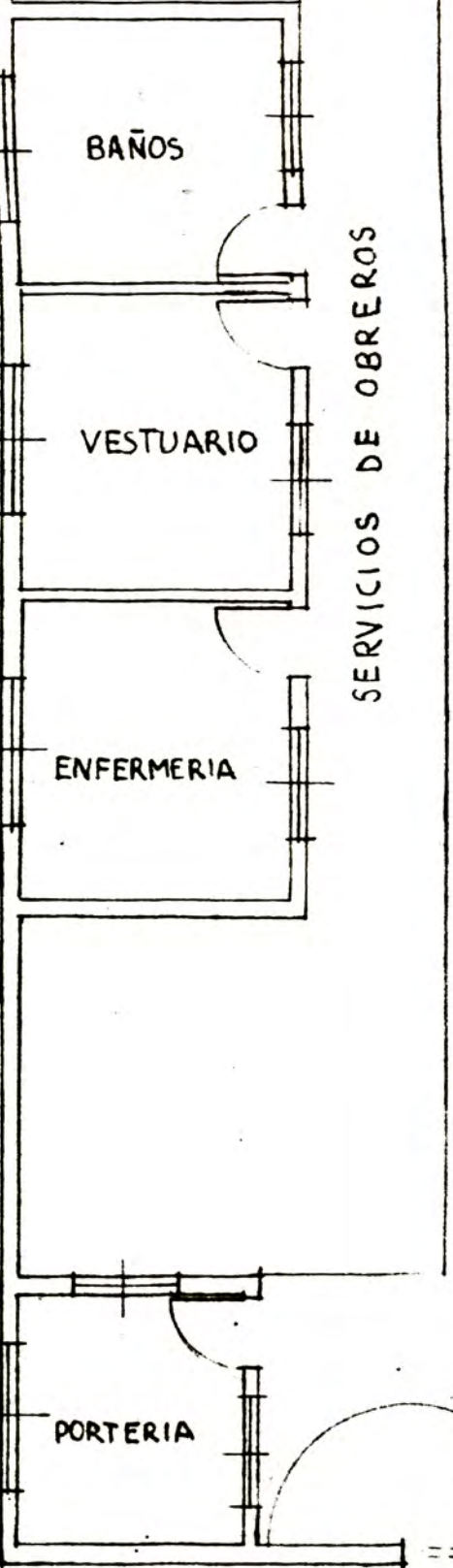
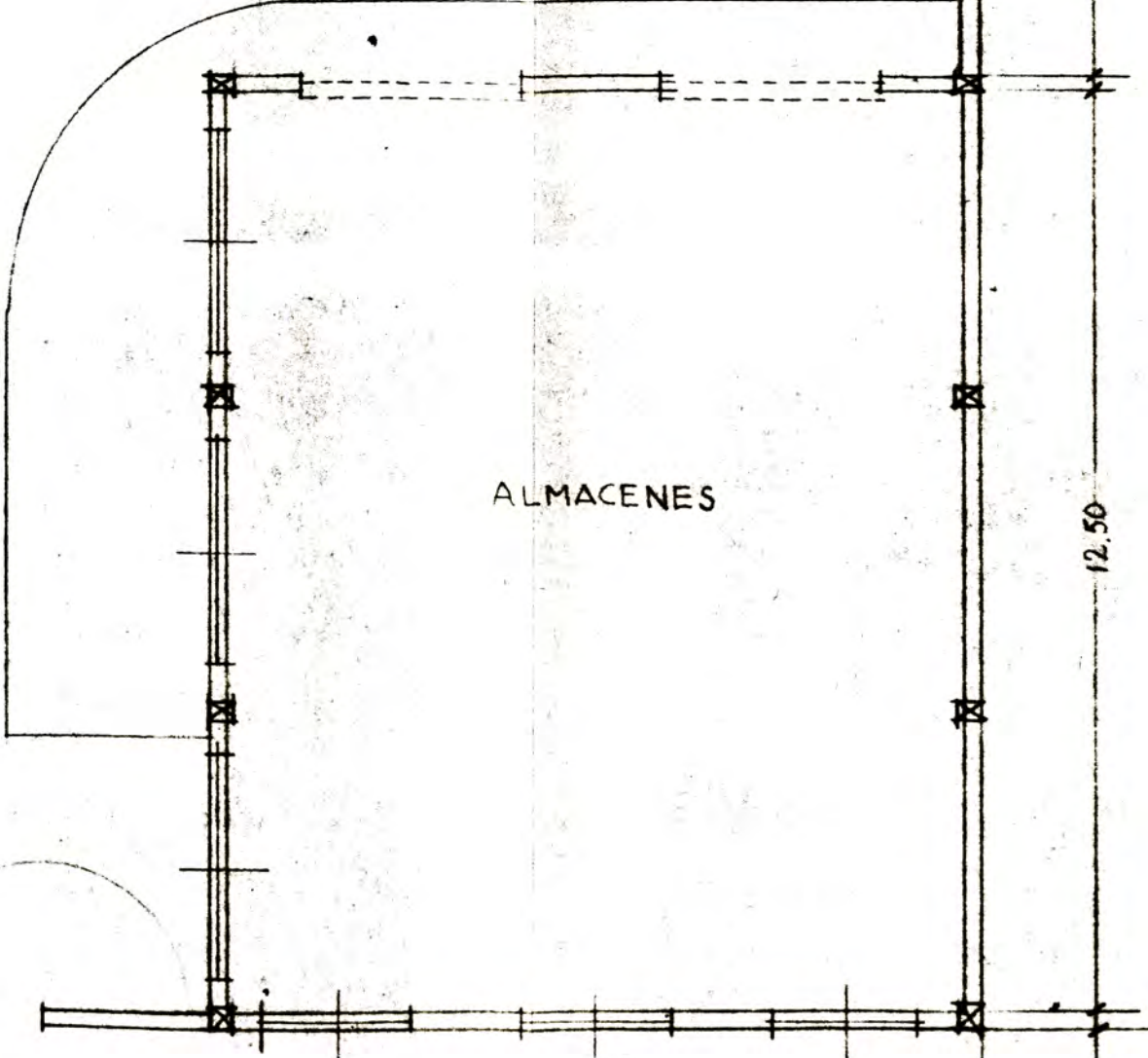
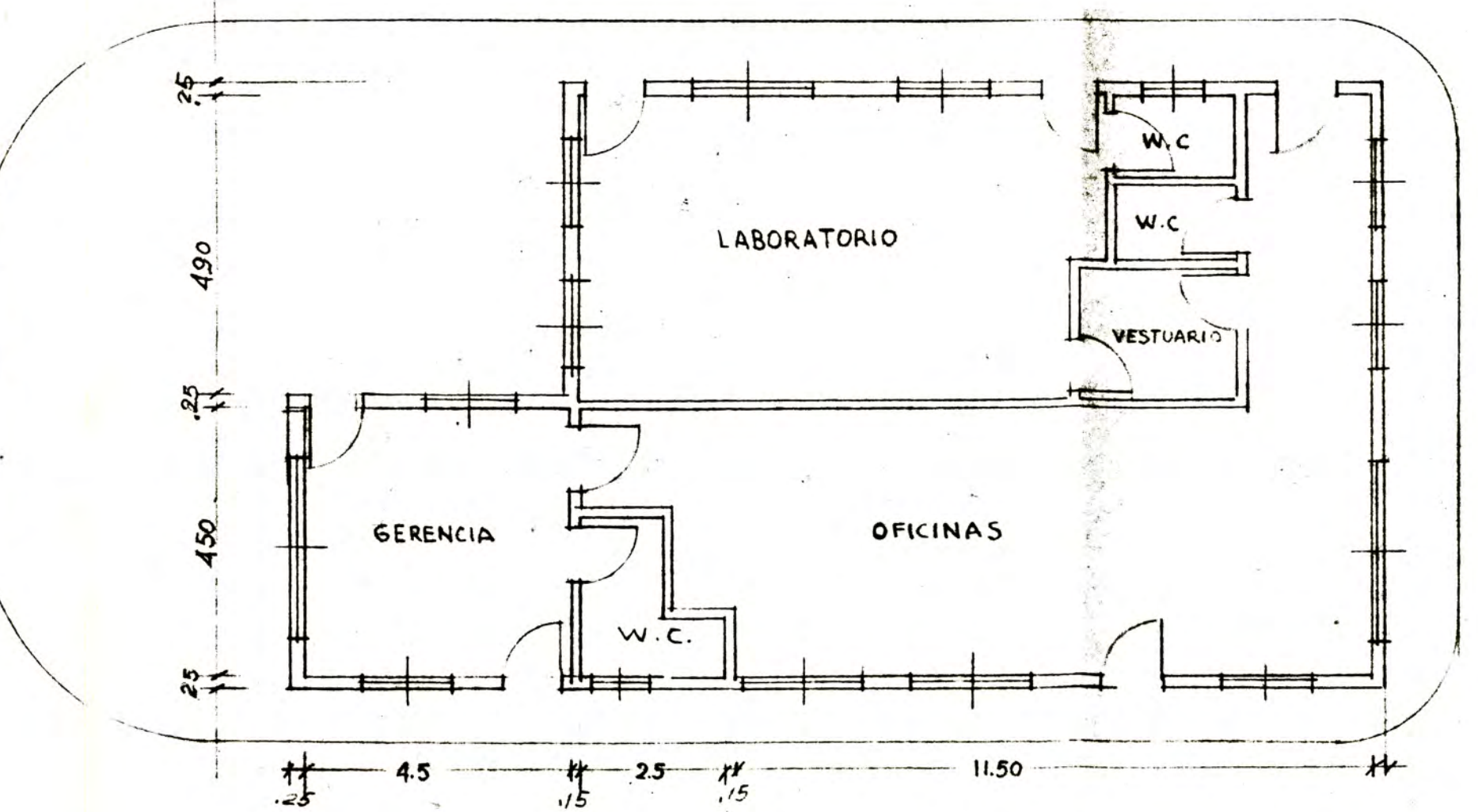
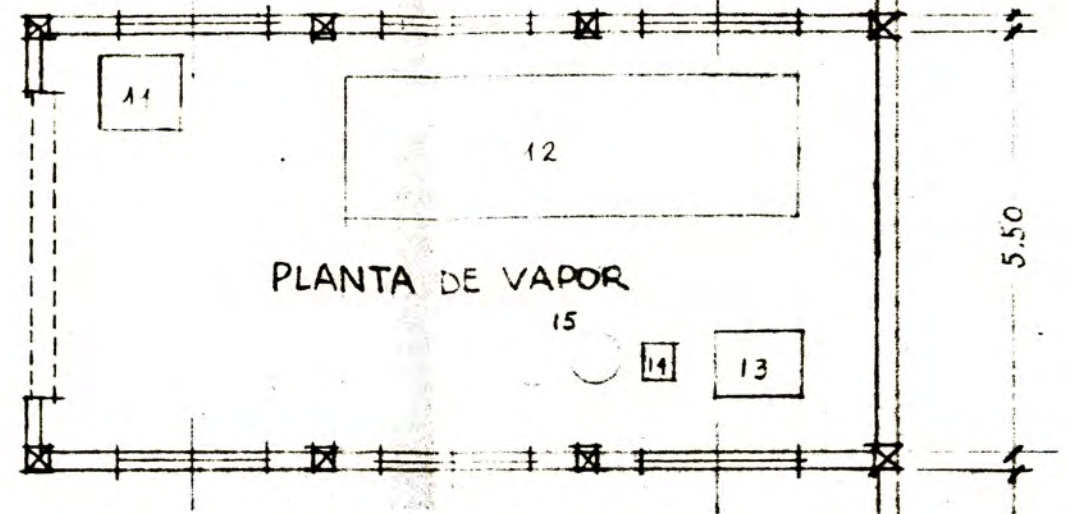
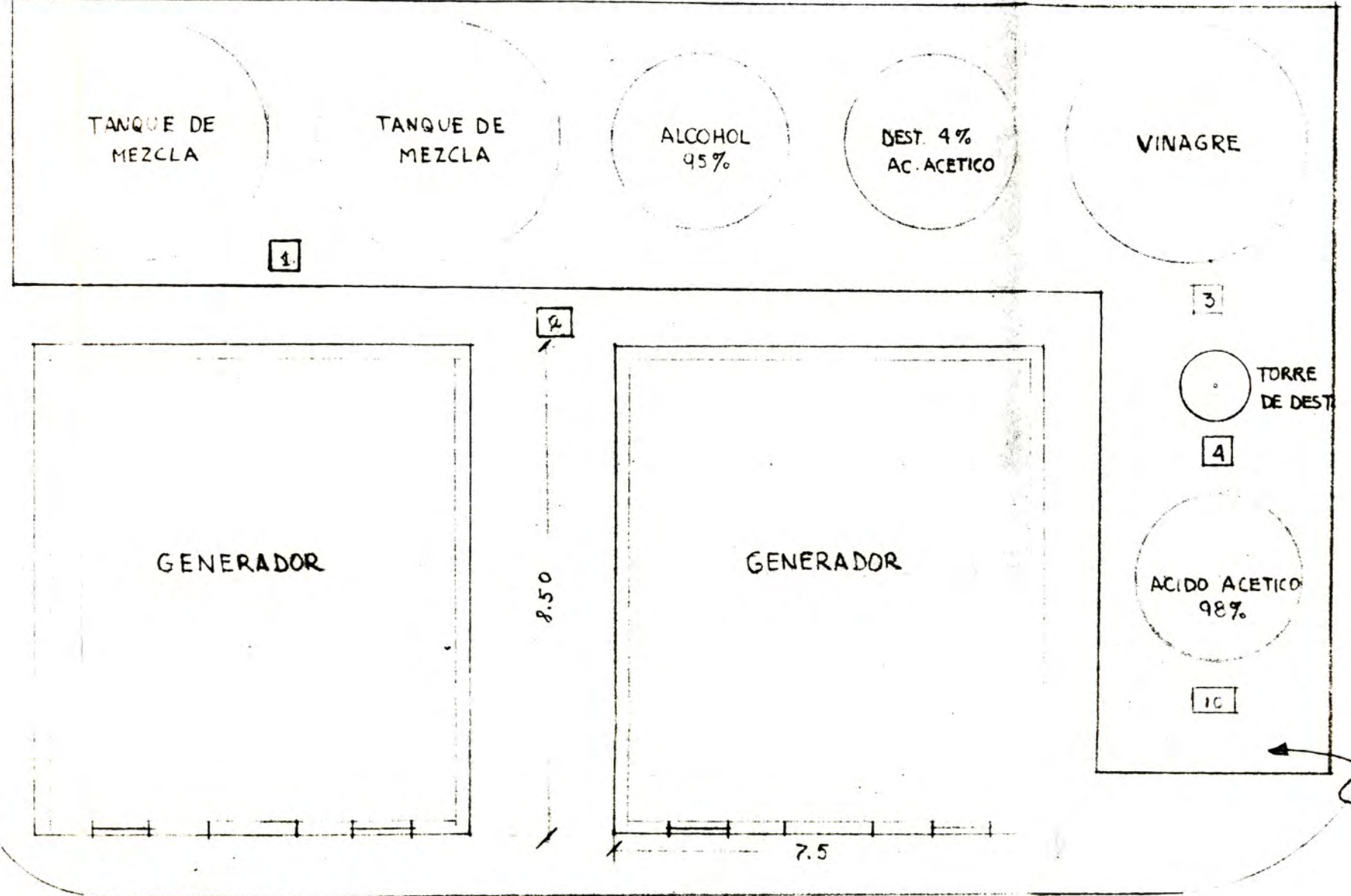
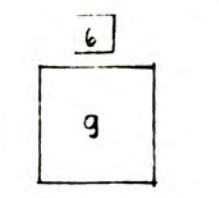
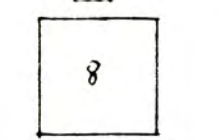
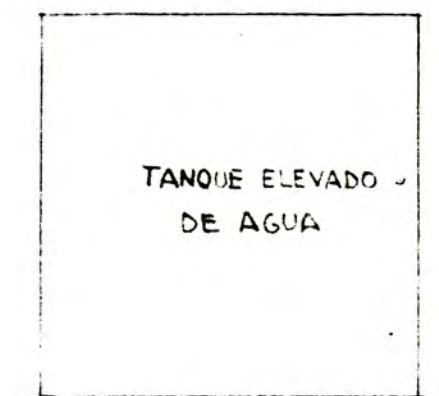
Las esterificaciones producen calor, pero en pequeñas cantidades felizmente; pues, de no ser así se crearían otras fuentes de calor, dentro de la columna, en puntos por encima del fondo; esto interferiría en el fraccionamiento, necesitándose un mayor reflujo, disminuyendo por consiguiente



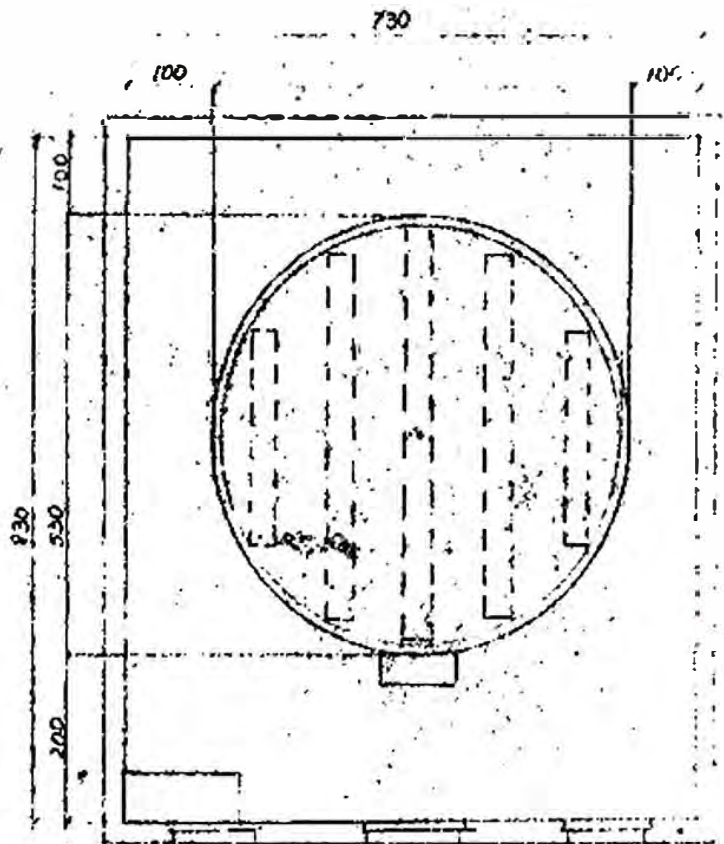
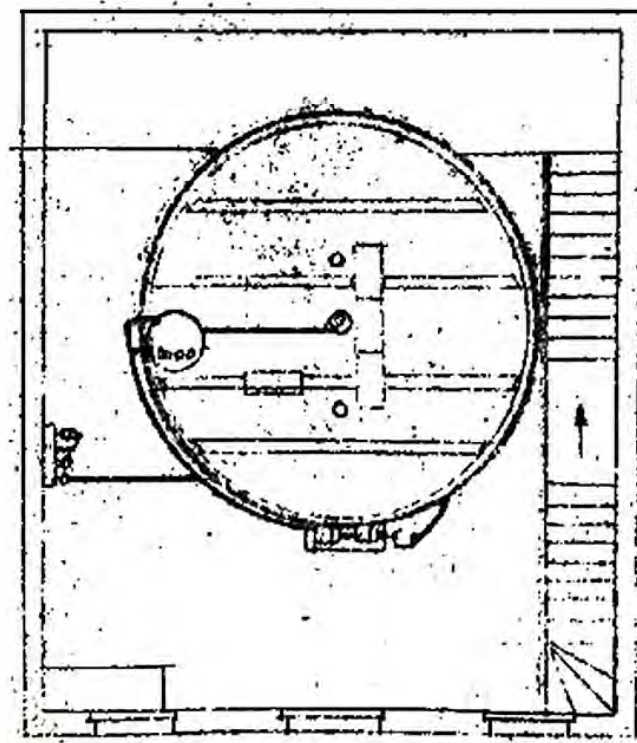
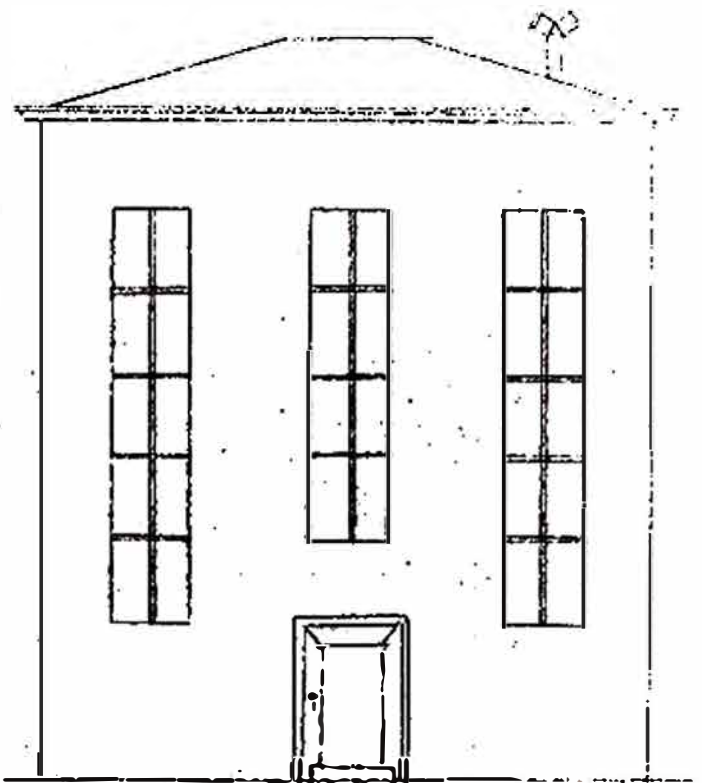
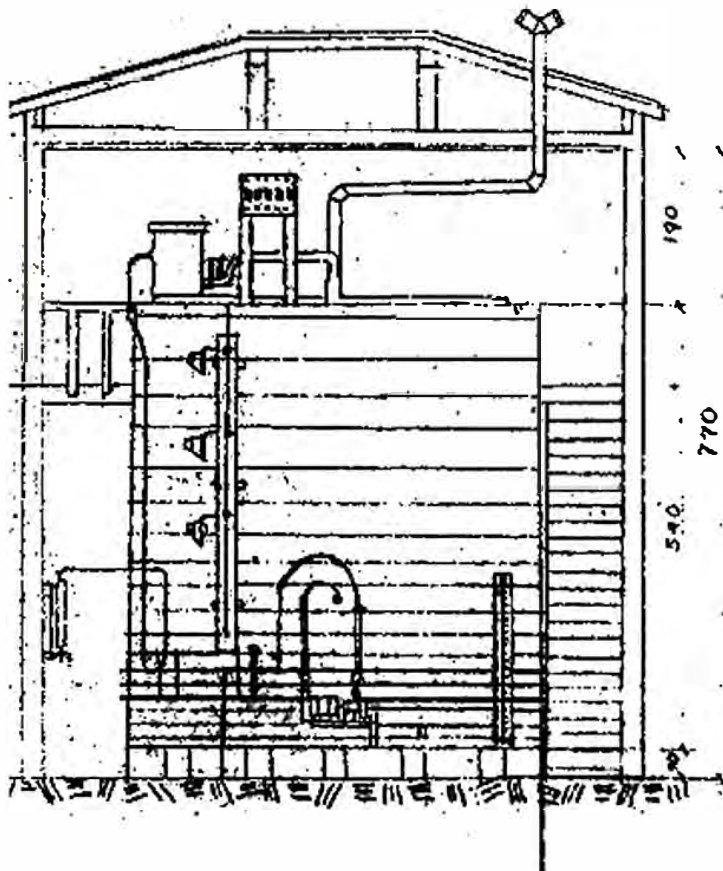
la capacidad del equipo.

En general, es recomendable en nuestro caso una columna de fraccionamiento de copas de cobre.

- 1.- Tanque prepar. Nutriente
- 2.- Bomba del generador
- 3.- " alimentacion de la torre
- 4.- " a acetico 98%
- 5.- " agua fria al tque. elev.
- 6.- " agua caliente - torre enfr.
- 7.- " petroleo
- 8.- Tanque agua caliente.
- 9.- " " fria.
- 10.- Balanza
- 11.- Tang. petroleo
- 12.- Caldero
- 13.- Tanque agua
- 14.- Bomba Centr.
- 15.- Ablandador de agua



PROYECTO DE GRADO  
**FABRICA DE ACIDO ACETICO**  
**PLANO DE DISTRIBUCION**  
 Dimensiones:mts Escala 1:100  
 Dibujado por: F Tong 12 Marzo 1955  
 Dpto Ing Quimica  
 ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS



GENERADOR DE FRINGO

MODELO 60 A

ESCALA 1:100

DIB. FONG

1.36.42-54

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

- 1.- "Chemical Engineer's Handbook": J. PERRY. Mc GRAW HILL.
- 2.- "Chemical Engineering Plant Design": VILBRANDT. Mc GRAW HILL.
- 3.- "Encyclopedya of Chemical Technology": KIRK & OTHMER.
- 4.- "Gran Enciclopedia de Química Industrial": ULLMANN.
- 5.- "Enciclopedia de Química Industrial": MUSPRATT.
- 6.- "Elements of Chemical Engineering": BADGER & Mc CABE  
Mc GRAW HILL.
- 7.- "Industrial Chemicals": FAITH & KEYES. JHON WILEY & Sons.
- 8.- "Industrial Microbiology": PRESCOTT & DUNN. Mc GRAW HILL.
- 9.- "Industrial Microbiology": H. F. SMITH.
- 10.- "Bacteriology": F. W. TANNER. JOHN WILEY & Sons.
- 11.- "Fermentos": JOSE GIRAL PEREIRA
- 12.- "Elements of Fractional Distillation": ROBINSON and GILLILAND.

ANUARIOS DEL COMERCIO EXTERIOR.

REVISTAS:

Industrial & Engineering Chemistry; 1932 - Aug; 1944 -  
1061; 1945-299; 1948-730; 1949-596; 1952-669;

1953-458.

Food Industries: 1935 junio; 1941 agosto.

Chemical Engineering: 1946-205.

COTIZACIONES

Neisser et Co. Lima

Badger Manufacturing Co. Mass.

Heinrich Frings-Bonn.

Del "Chemical Engineering Costs", de Zimmermann &  
Lavine.