

ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS  
INSTITUTO POLITECNICO SUPERIOR



DESTILERIA DE ALCOHOL  
Y  
RECUPERACION DE LEVADURA

Tesis

Presentada por el ex-alumno

Gabriel Loebel Z.

Para optar el título de

Ingeniero Químico

1951

## C O N T E N I D O

Introducción

Consideraciones generales

Consideraciones teóricas

Materia prima

Ensayos y cálculo de rendimientos

Estudio técnico del proyecto

Planta de fermentación y levadura

Contaminación en las destilerías

Planta de destilación

Energía

Vapor

Estudio económico

Conclusiones

Bibliografía

Ha sido la idea al exponer la presente tesis para optar el título de Ingeniero Químico, presentar una modesta contribución a las personas ligadas con las industrias de fermentación y de la ganadería, con el objeto de sugerir ciertos procesos que al llevarse a la realidad. les servirán, a los primeros, para mejorar rendimientos en sus industrias, y, a los segundos, incrementar la ración alimenticia de sus ganados.

Si lo expuesto en las páginas que siguen les es de alguna utilidad al llevarlo a la práctica, me encontraré recompensado; ése ha sido todo mi propósito.

Aprovecho la oportunidad para hacer constar mi agradecimiento por las enseñanzas recibidas, como por sus consejos en la realización del presente trabajo a los profesores del Departamento de Ingeniería Química de la Escuela Nacional de Ingenieros; como así mismo, a los jefes del Ingenio Azucarero de la Hacienda Laredo por las facilidades prestadas para llevar a cabo éste estudio.

Gabriel Loebel Z.

## CONSIDERACIONES GENERALES

La idea de basar una industria en productos agrícolas no es nueva, no es mas nueva que los esfuerzos para introducir métodos industriales en las operaciones agrícolas.

De más alcance en sus aplicaciones son las posibilidades de una utilización industrial de los carbohidratos. A éste respecto, existe un factor de carácter sociológico muy importante. Con todos los adelantos en los niveles de vida, el consumo de carbohidratos va decreciendo mientras que el consumo de grasas, proteínas y frutas vegetales se incrementa. Esto se puede apreciar del hecho que en países como la India y China, el 80%- 90% de los productos que dan calorías consisten de almidón ( cereales y papas); en países como Italia, España, Grecia, son el 60% - 70%, mientras que los correspondientes a Inglaterra, Estados Unidos, Suiza, Suecia, es apenas mayor que el 30%. Así pues, el aumento del nivel de vida trae aparejada una sobreproducción de carbohidratos.

La utilización industrial de los carbohidratos por medio de la fermentación, es probablemente, en su forma primitiva, una de las industrias mas viejas. Las bebidas alcohólicas han sido conocidas por todas las naciones antiguas, y su producción fué originalmente basada en las reacciones accidentales del azúcar de los jugos de frutas dulces con levaduras salvajes de la atmósfera. Actualmente ambos, las industrias de bebidas y las de manufactura de alcohol usan cultivos puros de levadura, pero el proceso siempre es el mismo.

La importancia industrial de las industrias de fermentación no está limitada a la posibilidad de proveer directamente un número importante de sustancias químicas, sino que éllas a su vez, pueden convertirse en el punto de partida de otros procesos industriales.

La producción de alcohol en nuestro país proviene en su mayor parte de las destilerías adjuntas a los ingenios azucareros, utilizando como materia prima las melazas residuales de sus propios procesos; y en pequeña escala, se produce alcohol de bajo grado en diversas zonas repartidas en todo el país, especialmente en la Sierra y Montaña, y utilizando generalmente el jugo de la caña como materia prima.

Actualmente, es muy marcado el aumento en la producción de caña de azúcar en las haciendas azucareras, lo que trae como resultados lógicos el aumento correlativo en la producción de azúcar y en el de melazas residuales. Es pues, un paso necesario aumentar la capacidad de las destilerías existentes y la instalación de nuevas.

Durante los últimos años se ha notado un progresivo aumento tanto en la producción como en el consumo del alcohol, que se puede apreciar en el cuadro adjunto. Aunque la forma del consumo del alcohol producido siempre es la misma, es de esperarse que en un futuro cercano el alcohol comience a utilizarse de una manera mas completa en las varias industrias de las que es materia prima, y tambien para la exportación a países necesitados de éste producto.

Es de un valor importante en el trabajo de las destilerías una utilización mas completa del proceso. Como ejemplo de éste caso tenemos la recuperación de la levadura ( proteína ) con sus consecuentes beneficios.

La industria de la ganadería, cuya importancia vital para todos los pueblos es indiscutible, está alcanzando en nuestro país un lugar destacado entre las industrias básicas; con su desarrollo viene el indispensable aumento del "standard" alimenticio de la población.

Y, para llegar al nivel deseado en éste aspecto, es natural que el desarrollo que se trata de dar a la Ganadería, lleve la atención hacia un importante problema, cuya solución adecuada es la llave para au-

mentar la alimentación de los pobladores del país; éste problema lo constituye la alimentación del ganado mismo.

Hoy día, que gran parte de los cultivos se dedican a productos de consumo inmediato, o de mejores rendimientos, los pastos escasean y con ellos muchos otros granos y mezclas que siempre se han usado como forraje. En la actualidad, se tiende a buscar nuevas fuentes de provisiones.

En el presente trabajo se llama la atención, en beneficio de la ganadería al igual que la avicultura, hacia el hecho que en nuestro país, a consecuencia de su importante industria azucarera, se hace posible la recuperación de una ración rica en proteínas y vitaminas que se pierde en la actualidad entre los productos de las destilerías de alcohol; el aprovechamiento señalado, posible de efectuarse en gran escala y a costo reducido, ha sido una solución aceptada en países extranjeros, para el mismo problema.

No será demás indicar, aunque no ha sido nuestro propósito, que el proceso a indicarse, con ligera modificación, puede servir para elaborar un producto de consumo inmediato para el género humano.

La levadura que se propone recuperar, es de las fuentes mas ricas que se conocen en vitamina B, y las proteínas que contiene representan casi el doble de las de la carne, que es otro de los alimentos ricos en proteínas; y se puede efectuar esta recuperación sin desmedro de la producción de alcohol.

#### BASES DEL PRESENTE PROYECTO.-

El fin del presente proyecto es diseñar una planta para la producción de alcohol de 95° y recuperación de levadura. Esta planta usa como materia prima la melaza residual proveniente de los ingenios azucareros; y estará situada en la parte norte de la Costa, ya sea adyacente a un ingenio, o de manera independiente, mediante la adquisición de la melaza de las diversas fábricas de dicha región.

CUADRO DE PRODUCCION Y CONSUMO DE ALCOHOL

<u>1944.-</u>		<u>CONSUMO</u> (valores en litros)	
anterior	983,429.796	Consumo	10'573,341.844
		al. motor	2'197,027.680
elaborado	16'792,125.959	al. ind.	3'512,697.040
	<u>17'775,555.755</u>	ron cartavio	78,735.744
		saldo	1'014,383.767
		merma	399,369.680
			<u>17'775,555.755</u>
		Alc. Costa	57,207
		" "	6'296,344
		" Sierra	4'087,793
		" "	126,772
		Montaña	5,223
			<u>10'573,341</u>

<u>1945.-</u>			
anterior	1'013,912.107	Consumo	12'134,505.637
		al. motor	1'398,188.150
elaborado	17'864,062.028	al. ind.	3'677,760.671
	<u>18'877,964.135</u>	merma	407,852.417
		cartavio	92,468.896
		saldo	1'167,188.357
			<u>18'877,964.135</u>
		Alc. Costa	53,395
		" "	7'439,664
		" Sierra	4'500,247
		" "	138,255
		Montaña	2,943
			<u>12'134,505</u>

<u>1946.-</u>			
anterior	1'167,188.357	Consumo	12'496,759.608
		Al. motor	709,411.650
elaborado	17'641,652.190	al. ind.	3'732,461.420
	<u>18'808,840.547</u>	redestilado	475.036
		cartavio	92,780.511
		merma	435,385.181
		saldo	1'341,567.141
			<u>18'808,840.547</u>
		Alc. Costa	62,697
		" "	7'335,155
		" Sierra	4'918,036
		" "	176,777
		Montaña	4,092
			<u>12'496,759</u>

<u>1948.-</u>			
anterior	1'438,484.044	Consumo	14'287,157.217
		al. motor	295,044.020
elaborado	19'158,926.941	al. ind.	4'003,885.110
	<u>20'597,410.985</u>	redestilado	138.075
		cartavio	92,238.084
		merma	474,450.290
		saldo	1'444,498.189
			<u>20'597,410.985</u>
		Alc. Costa	64,459
		" "	8'165,331
		" Sierra	5'748,735
		" "	304,603
		Monataña	4,026
			<u>14'287,157</u>

<u>1949.-</u>			
anterior	1'444,499.189	Consumo	14'802,532.018
		al. motor	255,867.800
elaborado	20'750,896.618	al. ind.	4'575,903.183
	<u>22'195,394.807</u>	redestilado	5,596.827
		cartavio	98,141.378
		merma	482,534.542
		saldo	1'974,817.059
			<u>22'195,394.807</u>

Nota.- El valor de litros es absolutos.

CONSIDERACIONES TEORICAS

El término alcohol, se refiere al alcohol etílico de fórmula:  $C_2H_5OH$ , que es un líquido volátil, límpido, incoloro, con un olor etéreo y un gusto penetrante, y de amplias aplicaciones en el campo industrial.

PREPARACION INDUSTRIAL DEL ALCOHOL.- Historia.-

La industria del alcohol abarca en su estricto sentido, la obtención del alcohol bruto, y del producto refinado a partir de él. En un sentido mas amplio, se refiere tambien a esta industria, la preparación del aguardiente y la de otras bebidas espirituosas; éstas comprenden todos aquellos líquidos en que entra el alcohol como componente esencial.

Los líquidos alcoholicos son conocidos desde la más remota antigüedad, pues en los documentos históricos primitivos se habla ya del vino y sus aplicaciones. La cerveza, bebida alcoholica preparada a partir de los cereales, era conocida por los egipcios. El vino fué sometido a la acción de los aparatos destilatorios descubiertos por los sabios de Alejandría, y ya en los escritos de Marco Graco en el siglo 8, se describe la obtención del " agua ardeus" por destilación del vino. El espíritu del vino se aplicó como medicamento en el siglo 13 y se le tenía en gran estima como remedio para toda clase de males. Los alquimistas vieron en él, el principio de la " piedra vegetal del saber" y encontramos al alcohol bajo diversas denominaciones.

No se sabe a ciencia cierta en que época pasó el alcohol desde los laboratorios de los alquimistas y su uso como medicamento a la producción industrial, pero se acepta que ésta se inició en el siglo 11, empleando al principio como materia prima solamente el vino, del cual se lograba obtener un producto muy rico en alcohol por desti-



laciones sucesivas.

Aunque el descubrir las posibilidades de emplear otras materia primas como cerveza, levadura, para preparar el aguardiente, hizo disminuir mucho el costo de éste, hasta el siglo 16 no se generalizó su uso por haber logrado obtenerlo directamente a partir de los cereales.

Los progresos realizados por la ciencia acerca del problema de la fermentación durante la segunda mitad del siglo 19 han influido notablemente en el desarrollo de la técnica de las destilerías. Dichos progresos elevaron la industria del alcohol desde su oscuro empirismo en que los procesos más importantes quedaban sometidos al azar, hasta una sistematización exacta de los distintos métodos de trabajo. Paralelamente con éste progreso científico, hay que señalar el progreso técnico, que encontró su expresión en los modernos aparatos destilatorios.

El consumo de alcohol para usos industriales muestra una tendencia creciente. La industria del alcohol tiene gran interés en que éste consumo se eleve cada vez más para asegurar un comercio ilimitado y con ello un aprovechamiento racional. En éste hecho influye en gran manera, el hacer que éste alcohol destinado a usos técnicos llegue a manos del consumidor libre de impuestos o muy poco cargado de ellos. Para impedir el uso de éste alcohol sin impuesto en otros usos, es necesario desnaturalizarlo.

#### Fuentes del alcohol.-

El alcohol se lo puede obtener a partir de cuatro diferentes clases de materias primas:

Primero: materias azucaradas ( melaza, beterraga, caña )

Segundo: materias amiláceas ( granos, papas )

Tercero: materias celulósicas ( maderas, residuos agrícolas, licos sulfitado o residuo de la fabricación de papel )

Cuarto: gases de hidrocarburos ( hidratación del etileno, conversión de los gases a una mezcla de CO y H que pasa por una hidrogenación catalítica )

Con las materias primas de las tres primeras clases, el alcohol es producido por la fermentación de los azúcares con levadura. La materia prima de la primera clase es directamente fermentable, la de la segunda clase consiste en carbohidratos más complejos como almidón, que deben ser convertidos primeramente en azúcares fermentables por acción enzimática usando malta, o por uso de mohos o ácidos minerales. Las materias celulósicas de la tercera clase son convertidos en azúcares fermentables por hidrólisis con ácidos minerales. Para los de la cuarta clase el proceso es enteramente diferente y no se usan organismos biológicos.

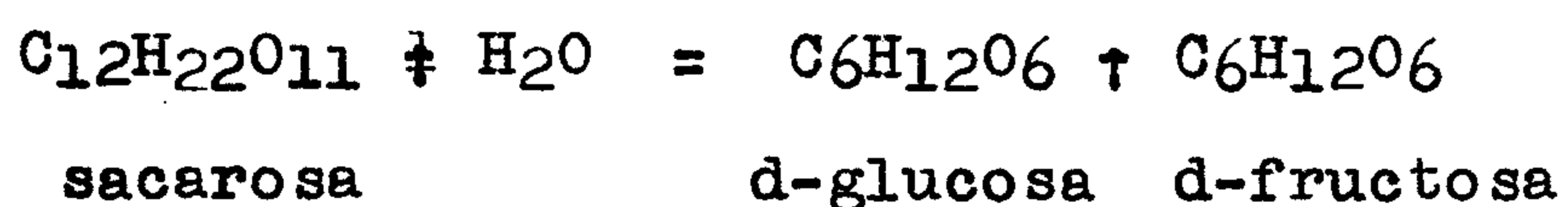
Manufactura a partir de materias azucaradas.-

Las materias azucaradas tienen ventaja sobre las amiláceas y celulósicas en que la fermentación es aplicada directamente. Entre estas materias primas, la más importante es la melaza; ésta consiste en los residuos de la evaporación del jugo de caña, después de la extracción del azúcar cristalizable, y contiene desde 50% - 60% de azúcares en la forma de una mezcla de sacarosa y azúcar invertido.

Bajo ciertas condiciones económicas se vuelve provechoso evaporar el jugo original de la caña, e importar la resultante melaza llamada " de alta prueba", la que tiene un contenido de azúcar de 78% y que está en su mayoría en la forma invertida como resultado de la hidrólisis ácida.

En el jugo de caña, el azúcar está en la forma de sacarosa:

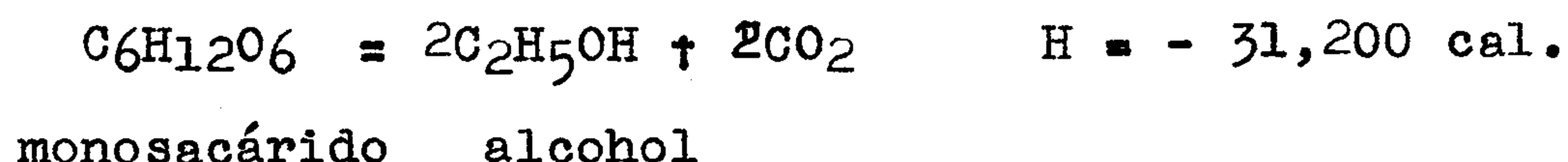
$C_{12}H_{22}O_{11}$ , que es cristalizable. En solución, la sacarosa sufre una hidrólisis catalizada por ácidos llamada inversión:



La mezcla de la glucosa y fructosa en el azúcar invertido no es cristalizable y constituye la mayor parte de los azúcares en las melazas.

Los organismos de la levadura usan varios azúcares como alimento y en presencia de oxígeno los oxida completamente a agua y anhídrido carbónico, bajo esas condiciones el organismo se multiplica rápidamente.

Bajo condiciones aneróbicas, la levadura es hábil de utilizar el azúcar como alimento produciendo una variedad de sustancias químicas, principalmente alcohol:



Cuando la concentración del alcohol llega a un 12% por volúmen, la actividad de la levadura cesa, y en la práctica generalmente no pasa de 9% a 10% . Esto introduce un límite superior en la concentración de alcohol que puede obtenerse por fermentación.

#### Delineamiento general del proyecto.-

La finalidad del presente proyecto, como ya se ha indicado, consiste en la obtención del alcohol etílico a partir de la melaza, como la recuperación de la levadura de los residuos de la fermentación.

La melaza inicial es calentada a unos 180°F -200°F, y diluída hasta una densidad de 40-45 grados Brix es mezclada con una cantidad determinada de ácido sulfúrico en un tanque de reacción, en donde bajo condiciones determinadas se precipita el calcio presente en la melaza.

El calcio, en forma de sulfato, es separada del conjunto por un grupo de centrifugas; el licor resultante es enviado por una bomba a un enfriador instantáneo para tenerlo a la temperatura ambiente, para ser luego nuevamente diluída hasta unos 18-20 grados Brix

y enviarla

y enviarla luego a los fermentadores. El sulfato de calcio es arrojado como desperdicio.

En los fermentadores, recipientes de acero de gran capacidad, la melaza, junto con la levadura agregada, que ha pasado por un cultivo cuidadoso para obtenerla en las mejores condiciones asépticas, son sometidos al proceso bacteriológico, en las condiciones apropiadas de concentración y temperatura, hasta completar el ciclo fermentativo de 48 horas.

El mosto producido, con un contenido de alcohol promedio de 6% por volúmen, se le bombea en primer lugar a los separadores centrífugos, en dónde se realiza la separación de la levadura del líquido principal, la que se seca posteriormente en un secador de tambor.

La separación del alcohol se efectúa en las columnas de destilación, las que tienen por objeto la concentración y rectificación del alcohol, y separación de sus impurezas.

MATERIA PRIMA

Melaza.-

La melaza es el subproducto o producto final tanto de la fabricación de azúcar crudo como de la refinada. Es un líquido viscoso, pesado, separado de la masa cocida final de bajo grado, de la cual no se puede cristalizar más azúcar por los métodos usuales. Se le considera generalmente como no comestible, sin embargo se la puede comer sin daño.

La Asociación Oficial de Control de Alimentación Americana define la melaza de caña para alimentación como un subproducto de la manufactura de caña de azúcar, y deberá tener un 48% o más de azúcares totales expresados como azúcar invertido. Su solución en un peso de agua igual, deberá marcar menos de 39.75° Brix.

Composición.-

Desde que las melazas finales contienen la mayor parte de los concentrados no azucarados del jugo de caña, junto con una porción inextraíble de sacarosa y azúcares reductores, se deduce que la composición cualitativa debe ser la misma que la del jugo del cual se deriva. También se deduce que la melaza debe ser cuantitativamente variable en su composición desde que se ha visto que la composición del jugo de caña varía ampliamente, debido a factores como la variedad de la caña, la extensión de la molienda, condiciones del clima y del suelo y tratamiento del jugo. El tratamiento del jugo y métodos subsecuentes de manufactura, pueden tener aún mayor influencia en la composición de la melaza final que el carácter de la caña de la cual se deriva. Ciertos cambios tienen lugar en la composición durante la manufactura, de tal manera que cualitativamente y cuantitativamente hay diferencias en el carácter de los no azúcares

en las melazas, comparadas con las del jugo correspondiente.

Los cambios principales son los ocasionados por la acción de la cal, otros álcalis, azúcares reducidos particularmente la levulosa a altas temperaturas.

Un análisis típico de melaza es difícil de formular. La densidad de las melazas sacadas de las centrífugas varía entre 85° a 92° Brix conteniendo sólidos totales por secado de 77% a 84% ( 45° a 47° Be.) La sacarosa varía entre 25% a 40% y los azúcares reductores de 30% a 12%, con azucares totales ( la suma de sacarosa y azúcares reductores) se tiene cerca del 50% como regla.

El cuadro siguiente, hecho por Browne, nos muestra una composición aproximada de la melaza:

Agua	%	20.00	%	20.00
		(Sílice SiO <sub>2</sub>		0.50
		(Potasio K <sub>2</sub> O		3.50
		(Calcio CaO		1.50
Ceniza	%	8.00	%	0.10
		(Magnesio MgO		0.20
		(Acido fosfórico P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		1.60
		(Acido sulfúrico SO <sub>3</sub>		0.40
		(Cloro Cl		0.20
		(Sodio, Hierro, etc. Na <sub>2</sub> O, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
Azúcares		(Sacarosa		32.00
	%	62.00		14.00
		(Dextrosa		16.00
		(Levulosa		
		(Albuminoides		0.30
		(Amidas: como asparagina		0.30
		(Amido ácidos; como aspártico		1.70
Cuerpos nitrogenados	%	3.00	%	0.15
Total de N: 0.5%		(Acido nítrico		0.02
		(Amoníaco		0.30
		(Cuerpos xánticos		0.23
		(Otros		
Gomas solubles		2.00		2.00
Acidos libres		2.00 (melasínico, glutínico		
Acidos combinados		3.00 (sacarínico, etc.		5.00
		100.00		100.00

Las melazas también contienen una pequeña cantidad de sustancias acarameladas, la cantidad de las cuales depende de la temperatura de

evaporación y hervido. El caramelo siempre se forma por el sobrecalentamiento del azúcar, y es una mezcla de una serie de cuerpos de color oscuro y de composición desconocida.

Cenizas.-

La cantidad y composición de las sales minerales o cenizas en las melazas varía con el carácter y cantidad de ceniza en el jugo original. Se ha demostrado ampliamente que las cenizas varían ampliamente debido a la variedad de la caña, suelo y otros factores. Se deduce de acá, que la diferencia en las cenizas de diferentes melazas según los lugares de procedencia, serán cuantitativamente grande, aunque las diferencias cualitativas no sean importantes. El porcentaje de ceniza varía de 7% a 11% en la mayoría de las melazas, aunque algunas llegan a tener hasta un 15%.

Una composición típica de la ceniza en la melaza es la siguiente:

% de ceniza en las

	%
melazas	8.00
SiO <sub>2</sub>	6.25
K <sub>2</sub> O	43.75
CaO	18.75
MgO	1.25
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.50
SO <sub>3</sub>	20.00
Cl	5.00
Na <sub>2</sub> O, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , e indeterminados	2.50

No azucares orgánicos.-

Estos presentan una gran diferencia con los del jugo correspondiente debido a los cambios en la composición durante el proceso de manufactura. Un análisis típico de sustancias orgánicas no azucares

Gomas	2.39%
cuerpos nitrogenados	1.00%
ácidos orgánicos	3.81%
indeterminados	5.51%
Total	<hr/> 12.71%

Los condituyentes gomosos consisten en pectinas, gomas disueltas en varias proporciones, ácido metoxílico y urónico.

Los cuerpos nitrogenados que están casi en la proporción del 1%, se ha obtenido según recientes análisis de compañías que usan la melaza como alimento de ganado, una mayor proporción y contenido de "proteína cruda" ( total.de N. por 6 ) que llega a un 9%.

Los ácidos orgánicos están formados principalmente por: ácido fórmico 0.1%; ácido acético 0.2%; ácido acotínico 0.8%; ácido láctico 0.05%, trazas de ácido málico y cítrico. Se puede considerar como el principal constituyente al ácido acotínico ( 1.8% - 2.5% basado en sólidos).

#### Vitaminas en las melazas.-

La existencia de vitaminas en la melaza ha sido indicada por varios experimentadores. Las referencias respecto a la existencia de vitamina B<sub>1</sub> ( cloruro de tiamina ) y de vitamina H, han sido publicadas por la Compañía Merck.

#### Sustancias reductoras no fermentables.-

Se ha reconocido hace tiempo que hay ciertas sustancias reductoras del cobre en la melaza, que no son fermentables o lo son difícilmente, y que generalmente se cree que éstas sustancias son resultados de la acción de la cal en los azúcares reductores durante la manufactura.

Aunque su constitución no está aún definida, se supone que contiene por lo menos un monosacárido: probablemente una ceto-hexosa, y una disacárida.

#### Cambios y descomposición durante el almacenaje.-

De los análisis y pruebas realizadas, se han notado los siguientes cambios:

##### 1.- Pérdida en la polarización



- 2.- Pérdida en sacarosa
- 3.- Incremento en azúcares invertidos
- 4.- Pérdida en azúcares totales
- 5.- Incremento en el porcentaje de los no- azúcares orgánicos
- 6.- Pérdida en sólidos totales
- 7.- Aumento de color

La descomposición se debe a una causa de carácter químico y no biológico debido a que las muestras tratadas no dieron indicios de levadura, hongos, bacterias u otros organismos, observándose la formación de ácidos volátiles como el acético y el fórmico.

La causa principal de esta descomposición es debido a la reacción de sustancias orgánicas inestables, originalmente producidas por la acción de la cal sobre los azúcares reductores durante la clarificación con cantidades adicionales de azúcares reductores en las melazas, lo que dá por resultado la formación de impurezas coloidales de color oscuro o de alto contenido de carbón.

Una mayor descomposición se nota algunas veces en los tanques de melaza, que tienen semejanza a una fermentación. Una evolución de anhídrido carbónico, que aparece como espuma en la superficie y es ocluída en bolsas de gas en el interior, es lo que se aprecia en las melazas, especialmente si son calentadas sobre 40°C.

#### Alcohol.-

La mayor parte de las melazas son destiladas para obtener alcohol industrial.

La fermentación de la melaza como resultado de la acción de la levadura, ocurre primero con la inversión de la sacarosa por acción de la invertasa segregada por la levadura, y luego conversión del azúcar invertido en alcohol etílico y anhídrido carbónico.

Los resultados teóricos de una libra de azúcar invertida ( 0.95 lbs. sacarosa ) es de 0.511 lbs de alcohol absoluto y de 0.489 lbs.

de anhídrido carbónico. En la práctica actual nunca se alcanzan esos resultados, y la eficiencia con los métodos rudimentarios puede llegar a 50% ; métodos modernos con levadura seleccionada, darán un promedio de 90%.

Owen, nos dá detalles de los resultados a esperarse de melazas con 55% de azúcares totales a 12 lbs. por galón de 84° Brix, con eficiencia de fermentación variables de 83% a 95%. El galón proof  $\phi$  50% alcohol por volúmen; 42.4% por peso ) varía desde 0.799 galones para 83% de eficiencia a 0.914 galones para 95% de eficiencia. King, nos dá los resultados: 1 galón de 95% alcohol por cada 15.4 lbs. de azúcar invertida fermentada.

ENSAYOS Y CALCULO DE RENDIMIENTOS

Tratándose de recobrar uno de los productos de la fermentación, es necesario que ésta se realice sin interferir en el rendimiento de alcohol; es decir, que además de obtener la cantidad de alcohol que contiene la melaza fermentada sin pérdida alguna, se recupere el rico sedimento del mosto antes de su desalcoholización, estableciéndose el proceso como adyacente a la elaboración normal.

Con ésto se logra un beneficio triple:

a.- se obtiene el alcohol como siempre

b.- se separa la levadura

c.- se eliminan gran parte de las dificultades que se presentan en las columnas al destilar el mosto con la levadura en suspensión como son las incrustaciones, etc.

Por los motivos mencionados anteriormente, se procedió a determinar si existe alguna diferencia entre el porcentaje de alcohol de un mosto destilado corrientemente y otro en el que previamente se había separado la levadura.

Procediendo con muestras provenientes de toneles de 9,000 litros de capacidad y determinando los porcentajes de alcohol en los dos casos, se obtuvo los siguientes resultados promedios:

En el primer caso: porcentaje de alcohol por volúmen: 5.92%

En el segundo caso: porcentaje de alcohol por volúmen 5.89%

Es muy posible que ésta pequeña diferencia no exista en realidad, pero se presentó debido al hecho que en la primera extracción de la levadura quedan partículas de mosto adheridas. Pero como se verá posteriormente, ésto no representa una pérdida, debido al hecho que el agua de lavado de la levadura que sería la portadora de ésta diferencia es enviada a las columnas y utilizada.

Para calcular los rendimientos, se llevó a cabo los ensayos indicados a continuación, parte de los cuales fueron realizados en el laboratorio con muestras pequeñas, y parte en la destilería en gran escala.

Las pruebas efectuadas fueron las siguientes:

- a.- análisis de la melaza
- b.- purificación de la misma
- c.- fermentación
- d.- análisis químico del producto resultante
- e.- destilación del licor fermentado después de separar la levadura

a.- El análisis de la melaza usada en las experiencias es el siguiente:

Grado Brix	85
Beaumé	45
Peso específico	1.45
Sacarosa	34.00%
Azuc.reductores	12.31%
Sacarosa Clerget	36.2%
Nó-azúcares	36.89%
Ceniza	9.36%
Agua	14.60%

La composición de la ceniza es la siguiente:

$K_2O$	33.47%
$Na_2O$	6.4 %
$CaO$	17.1 %
$SiO_2$	3.5 %
$P_2O_5$	2.0 %
$SO_3$	20.7 %
$Cl$	7.6 %
$Fe_2O_3$	1.3 %

b.- La purificación de la melaza y la separación del precipitado se realizó por adición de ácido sulfúrico, eliminándose después el sulfato de calcio formado.

Se tomó dos litros de melaza diluida a 45° Brix, se le añadió 3 cc. de ácido sulfúrico de 60° Beaumé, cantidad de ácido necesaria para eliminar el CaO contenido en la melaza. Se calentó la mezcla a 80°C durante una hora dejándola después en reposo.

Una vez fría, se procedió a centrifugar la melaza en una centrifuga de mano, obteniendo así una materia prima limpia, de un p.h. 4.5, y un sedimento, que junto con las impurezas contenía 35 gramos de sulfato de calcio; lo que indica una eliminación del 70% de la cal contenida originalmente en la melaza, y cantidad suficiente para nuestro propósito. Al líquido limpio resultante, se le añadió agua hasta obtener una densidad de 17° Brix, grado en que se efectúa una eficiente fermentación alcohólica.

c.-Se tomó 1 litro de melaza diluida, se agregó 8 cc. de levadura ( al 5% ) y una pequeña cantidad de sulfato de amonio dejándola fermentar durante 12 horas en una vasija abierta. Transcurrido dicho tiempo, añadí 1 litro más de melaza de 17° Brix, dejando la melaza en fermentación hasta un total de 48 horas, al cabo de las cuales la densidad bajó a 9° BRix, considerando terminada la fermentación.

d.- La separación de la levadura del mosto fermentado, se realizó en una centrifuga De Laval, del tipo de las descremadoras de leche, que funciona a una velocidad de 8,000 r.p.m. Por uno de los conductos sale el mosto libre de materias en suspensión, depositándose ésta en las paredes interiores del aparato, y sacándola por medio de una espátula. En la misma centrifuga se llevó a cabo el lavado de la levadura.

Centrifugando los dos litros de mosto fermentado obtuve 20 gramos de levadura, lo que representa el 1% sobre la cantidad de mosto en volúmen.

La sustancia resultante, es una masa espesa, oscura, la que se vá aclarando conforme se lava, y sus sabor es el característico de la levadura. El producto tal como sale de las centrifugas, tiene una humedad que varía entre 75% a 80%.

e.- Efectuando el análisis de la levadura resultante en el proceso descrito, obtuve los siguientes resultados

Proteína	36%
Grasa (ex. eter )	1.8%
Extracto libre de N.	39.1%
Ceniza	13.6%

En la ceniza:

SiO <sub>2</sub>	13.58%	K <sub>2</sub> O	27.43 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.17%	Na <sub>2</sub> O	6.14 %
CaO	19.12%	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	7.32 %
MgO	2.21%	SO <sub>3</sub>	8.86%

Estos resultados obtenidos, están calculados sobre la sustancia completamente seca.

f.-Efectuando la destilación de la melaza fermentada después de haber separado la levadura, obtuve por análisis un valor de 5% de alcohol por volúmen.

De acuerdo con los datos indicados, resulta un rendimiento en éste caso de 200 gramos de levadura húmeda por litro de alcohol.

2.- Para tener rendimientos representativos, en los ensayos en la destilería misma se efectuaron dos pruebas: una con mosto resultado de fermentación con semilla preparada con antigüedad, y otro con mosto resultante de levadura fresca.

La melaza en ambos casos fué la misma que se usó en los ensayos de laboratorio.

En el primer caso, el mosto tuvo las siguientes características: Brix 8.5°, Beaumé 4.7, temperatura 25°C, horas de fermentación 48.

De un total de 10 litros centrifugados i lavados cuatro veces, resultaron 130 grs. de levadura húmeda, que es equivalente a 1.3 grs. por 100 de mosto; analizando el porcentaje de alcohol resultó 5.5%, y refiriendo éste resultado al rendimiento en levadura resulta: 240 grs. de levadura húmeda por litro de alcohol. La sustancia seca de éste producto fué de 20.5%.

La prueba en el segundo caso se hizo de la manera siguiente: 400 litros de levadura preparada ( al 5% ) se mezclaron con 2,000 litros de melaza diluída a 17° Brix, se añadió 2 litros de ácido sulfúrico, el p.h. fué de 5. Transcurridas unas 12 horas, se agregaron 2,000 litros más de melaza diluída; después de 12 horas más, cuando la densidad alcanzaba un valor de 8° Brix, se agregaron 6,000 litros de melaza diluída y acidulada convenientemente. Se le dejó fermentar hasta completar las 48 horas totales; usándose luego la melaza fermentada como se milla para iniciar la fermentación en otros tanques con melaza de 17° Brix, al término de la cual se sacó de uno de ellos 10 litros de mosto para centrifugarlo. Siguiendo el mismo proceso del caso anterior, el resultado fué el siguiente: 250 gramos de levadura húmeda, que equivalen a 2.5 grs. por 100 de melaza fermentada.

De la destilación respectiva, el rendimiento en alcohol llegó a 6.3% por volúmen, lo que representa un valor que oscila entre un 80% - 84% de eficiencia para la fermentación. Relacionando datos tenemos que resultan 396 gramos de levadura húmeda por litro de alcohol. La sustancia seca de ésta última fué 23.7%.

Luego, haciendo un promedio en los rendimientos tenemos que para una planta que trata 40 toneladas de melaza diarias:

Según análisis, se sabe que el total de azúcares fermentables en la melaza es de 50%

$$40 \text{ Ton.} \times 0.50 = 20 \text{ Ton azúcares fermentables}$$

De la fórmula respectiva, por cálculos estequiométricos se deduce que el alcohol representa el 51.1% en peso de la cantidad de los azúcares de dónde provienen:

$$20 \text{ Ton} \times 0.511 = 10.22 \text{ Ton de alcohol}$$

$$\frac{10,220 \text{ Kg.}}{.79} = 12,950 \text{ litros de alcohol } 100\%$$

Siendo la eficiencia de la fermentación de 80%

$$12,950 \text{ lts.} \times 0.80 = 10,360 \text{ lts}$$

Tomando una eficiencia promedio de destilación en las dos columnas de 0.96

$$10,360 \text{ lts.} \times .96 = 9,900 \text{ litros} = 10,400 \text{ lts } 95\%$$

El rendimiento de alcohol corresponde a una riqueza de 6% de alcohol por volumen del mosto, y para este valor, el resultado correspondiente de levadura siendo de 300 grs. por litro de alcohol, nos dá: 3,240 Kg. de levadura húmeda.



## Fermentadores:

## Entra:

melaza: 185,000 Kg.

levadura: 2,000 Kg.

---

187,000 Kg.

## Sale:

mosto: 181,300 Kg. 9°Brix.

CO<sub>2</sub>: 5,700 Kg. ( p.e. 1.02)

---

187,000 Kg.

## Separadores de levadura:

## Entra:

mosto: 181,300 Kg.

Agua: 200 Kg.

---

181,500 Kg.

## Sale:

mosto: 178,260 Kg.

levadura: 3,240 Kg. 80% humedad

---

181,500 Kg.

## Secador.-

## Entra:

levadura: 3,240 Kg.

## Sale:

levadura: 640 Kg.

agua: 2,592 Kg.

---

3,240 Kg.

Columnas.- Esta parte está detallada en la respectiva sección.

BALANCE DE MATERIAS

Este balance de la planta de destilación de melaza, representa un resumen de la circulación del material y capacidad de los aparatos mas importantes usados. Está hecho en base de 24 horas de operación.

Materia prima: 40 Ton. de melaza de 85° Brix Ø p.e. 1.44 )

Tanque mezclador.-

Entra:		Sale:	
melaza:	40,000 Kg.	melaza:	75,500 Kg.- 45°Brix.-
agua:	<u>35,500 Kg.</u>		( p.e. 1.2 )
	75,500 Kg.		

Tanque de reacción.-

Entra:		Sale:	
melaza:	75,500 Kg.	melaza:	74,027 Kg.
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> :	<u>107 Kg.</u>	como precipitado:	
	75,607 Kg.	CaSO <sub>4</sub> :	1,254 Kg.
		Agua:	<u>326 Kg.</u>
			75,607 Kg.

Centrífugas:

Entra:		Sale:	
melaza:	74,027 Kg.	melaza:	74,027 Kg.
como precipitado:		cristales de	
CaSO <sub>4</sub>	1,254 Kg.	CaSO <sub>4</sub> , 2H <sub>2</sub> O	<u>1,580 Kg.</u>
Agua:	<u>326 Kg.</u>		75,607 Kg.
	75,607 Kg.		

Tanque de dilución:

Entra:		Sale:	
melaza:	74,027 Kg.	melaza:	185,000 Kgs. 19°Brix.
Agua:	<u>110,973 Kg.</u>		( p.e. 1.07 )
	185,000 Kg.		

## ESTUDIO TECNICO DEL PROYECTO

En el desarrollo de éste estudio, el proceso ha sido sub-dividido en varias partes que tratan de las operaciones básicas a realizarse para obtener el producto final.

### PLANTA PARA EL TRATAMIENTO DE LAS MELAZAS.- Generalidades.-

Para obtener un producto final sin muchas impurezas, y de un mejor rendimiento, la melaza usada en el proceso debe ser sometida a un previo tratamiento y purificación.

Hasta ahora, las melazas de 84°- 85° brix fueron pasteurizadas y diluidas con agua hasta una densidad de 18° - 20° brix, con el objeto de obtener un alto porcentaje de alcohol. Las melazas contienen azúcar en dos formas: como sacarosa y como azúcar invertido, esta última es formada cuando la sacarosa sufre una hidrólisis o inversión. El azúcar invertido fermenta rápidamente cuando se le añade levadura, mientras que la sacarosa no lo hace; es por ésto, que las destilerías añaden usualmente ácido sulfúrico en pequeñas proporciones para llevar a cabo la inversión de la sacarosa. Finalmente, se le añadía la cantidad de levadura necesaria y por control de la fermentación el ciclo podía ser completado en 48 horas. Es posible sin embargo, que por ciertos cambios en éste proceso llevar a cabo la recuperación de la levadura producida durante la fermentación.

Durante la fabricación del azúcar de caña, grandes cantidades de cal son usadas para prevenir la inversión del azúcar, lo que reduciría la cantidad de la sacarosa deseada. Los jugos producidos en éste proceso, al ser concentrados en los evaporadores dan como resultado la cristalización del azúcar; el licor o melaza, que es separado del azúcar crudo en las centrífugas con un contenido en azú-

car de un 50% aproximadamente, arrastran consigo partes de la cal usada en el tratamiento anterior, ésta cal, cuando las melazas son fermentadas precipita contaminando la levadura, y depositándose así mismo en las columnas en forma de escamas con la consiguiente obstrucción en las mismas.

Es pues necesario dar a las melazas un tratamiento especial con el objeto de evitar las consecuencias anteriormente citadas.

El proceso comprende los siguientes pasos:

a.- Dilución y pasteurización.-

La melaza tal como viene con un brix de 85°, es diluida con la cantidad necesaria de agua caliente y sometida a un posterior calentamiento hasta unos 180° a 200°F en un tanque mezclador. Esta melaza adquiere, además de una densidad entre 40 a 45 grados brix, una fluidéz debido a la disminución de la viscosidad en forma tal que si se la centrifugara nuevamente, se separarían con facilidad todas las materias en suspensión.

Según los cálculos anteriores, la cantidad de melaza que fluye por hora es:

$$\frac{40,000}{24} = 1,670 \text{ kg/hr}$$

la cantidad de agua que debe añadirse para reducirla a un brix de 45 grados será:

85	45	45	45	-	40	de agua	
0	45	40	1,670	-	x		x = 1,480 lts/hr

La pasteurización es efectuada por medio de la inyección de vapor al mezclador.

b.- Tratamiento con ácido sulfúrico.-

La melaza calentada y diluida, es tratada con ácido sulfúrico de 60°Beaumé la que se realiza en un tanque de reacción, previo

paso por un proporcionador que regula las cantidades exactas de melaza y de ácido.

Las cantidades de ácido sulfúrico usadas son de 1 litro por mil litros de melaza. La melaza, que tiene una concentración de iones de Hidrógeno de 5.5, con el tratamiento de ácido sulfúrico llega a tener un valor de p.h. entre 4 y 5, p.h. al que la cal presente en la melaza caliente precipita en la forma de sulfato de calcio menudo y cristalino:  $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ , siempre que ésta mezcla de melaza y ácido se conserva de la mejor manera a la misma temperatura por lo menos durante una hora; ésto es debido a que la reacción entre el ácido sulfúrico y la cal no es muy rápida por la acción buffer o compensadora de los distintos compuestos orgánicos presentes en la melaza. Durante este tratamiento tiene lugar así mismo una especie de pasteurización.

Aunque el desencalado de la melaza, no es una operación generalizada, es necesaria para nuestro objeto, puesto que como ya se ha señalado, dá un producto más puro y por otro lado ayuda a la desaparición en gran parte de las incrustaciones que siempre se forman en los aparatos de destilación.

La cantidad de ácido sulfúrico que se usará por hora será:  
melaza que entra al tanque de reacción por hora:

$$\frac{1,670 + 1,480}{1.2} = 2,640 \text{ lts/hr}$$

cantidad de ácido:

$$2,640 \times \frac{1}{1000} = 2.6 \text{ lts/hr}$$

La cantidad de sulfato de calcio e impurezas que se forman, considerando una recuperación de un 80% será:

$$40,000 \text{ Kg.} \times 0.0936 \times 0.171 = 640 \text{ Kg. de Cao}$$

640 kg. de CaO por día que corresponden a 66 kg.  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ / hr

c.- Separación del precipitado.-

Los cristales de sulfato de calcio en suspensión, son separados del líquido por centrifugación. Las centrifugas están provistas de canastas de sólida construcción, que permiten remover el líquido claro, mientras los cristales de sulfato de calcio, quedan retenidos en el cesto. Aunque para éste fin se pueden usar centrifugas continuas, dado nuestro caso, se prefiere centrifugas de movimiento intermitente, las que dan buenos resultados.

La separación del sulfato de calcio de la manera indicada, dá por resultado que la levadura obtenida con la melaza así tratada rebaje su porcentaje de cenizas.

d.- Enfriamiento de la melaza.-

La melaza antes de iniciar la fermentación debe enfriarse a la temperatura de  $78^\circ\text{F}$  -  $25^\circ\text{C}$ , temperatura de sedimentación del fermentador.

Este enfriamiento instantáneo es realizado por un enfriador de expansión, provisto de un condensador barométrico. Las ventajas principales de éste aparato residen en la eliminación de varios ácidos orgánicos volátiles, y también de sustancias de olores fuertes, ventajas, que contribuyen a la producción de un alcohol de mejor calidad.

e.- MAQUINARIA Y ACCESORIOS.-

Tanque de almacenamiento.- La melaza que se trae de los centros azucareros, se la almacena en tanques de fierre de gran capacidad, para asegurar su provisión durante el trabajo. Consideramos una capacidad de almacenaje de 6 días de trabajo.

cantidad de melaza usada en 1 día:









Tanque previo a las centrífugas.-

Debido a la forma del trabajo de las centrífugas, es necesario colocar un tanque previo, con el objeto de almacenar parte de la melaza que sale del tanque de reacción.

Este tanque tendrá una capacidad para almacenar la melaza de 3 horas de trabajo o sea:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Capacidad : } 3 \times 2,640 & = & 7,920 \text{ litros} \\
 \text{más un 10\%} & = & 792 \text{ " } \\
 \hline
 & & 8,712 \text{ litros}
 \end{array}$$

Luego se necesitará una capacidad de 8,712 litros y con:

Diámetro: 2.5 metros

Dimensiones:

Altura : 1.80 metros

Centrífugas.-

Se ha escogido centrífugas con las dimensiones de 40" x 24" y con una velocidad de 1,150 r.p.m.

Estas centrífugas tienen una capacidad por cada carga de 300 lbs. de sulfato de calcio, o sea de 136 kilos; como se necesitan separar por día 1,580 kilos, se deberán hacer:

$$\frac{1,580}{136} = 12 \text{ cargas por día}$$

siendo el ciclo de duración de cada carga, debido a la constitución de los productos que se separan de 2 1/2 horas, y siendo el número de horas de trabajo de las centrífugas de 16, se necesitarán 2 de ellas.

Las centrífugas tienen suspensión en la parte superior y son movidas por un motor de 10 H.P.

Tanque de recepción.-

Este tanque tiene una capacidad de almacenaje para 8 horas de trabajo producido por las centrífugas.

Volumen de líquido en 8 horas:

3,080 kg x 1.2 x 8 = 29,600 litros  
Volúmen del tanque: 29,600 litros  
más un 10% : 2,960 "  

---

Volúmen total : 32,560 litros

El tanque tendrá una capacidad de 32.56 metros cúbicos y las dimensiones:

Dimensiones: largo: 3.75 metros  
                  ancho: 3.50 metros  
                  alto : 2.50 metros

Enfriador instantáneo.-

Como se ha indicado anteriormente, el enfriador instantáneo tiene por objeto enfriar la masa hasta la temperatura apropiada para su ingreso a los fermentadores.

El principio del funcionamiento de éstos aparatos radica en que, cuando se permite la expansión de una solución acuosa colocándola bajo una presión reducida, el calor latente necesario para evaporar la parte que se vaporiza, debido a la expansión enfría al líquido, lo que se hace de una manera instantánea y con un pequeñísimo aumento de concentración.

Vapor, que lo podemos denominar de operación, es inyectado a gran velocidad con el objeto de remover las cantidades de vapor de agua formado durante la evaporación, como así mismo de mantener el grado de vacío necesario para causar esta evaporación a la temperatura de enfriamiento deseada. La mezcla del vapor de operación y del vapor de agua formado, pasan a un condensador donde son licuefactados. Se usa un condensador barométrico por no ser de interés la recuperación del condensado.

La cantidad de melaza que se debe enfriar por hora es de 3,080 kilos por hora.

Según la fórmula de Tromp, el calor específico de la melaza de 45° brix es:

$$C_m = C_w \cdot x + C_s ( 1 - x )$$

en dónde:

x : porcentaje de agua en el jugo

C<sub>s</sub>: calor específico de la sacarosa

C<sub>w</sub>: calor específico del agua

aplicando tenemos:

$$C_m = 1 \times 0.55 + 0.301 ( 1 - 0.55 ) = 0.685 \text{ BTU/lbx}^\circ\text{F}$$

Luego, la cantidad de calor que se debe remover para enfriar la mezcla desde una temperatura de 175°F a 77°F será:

$$Q = 3,080 \times 2.2 \times 0.685 \times ( 175 - 77 ) = 455,000 \text{ BTU/hr}$$

lo que equivale á:

$$\frac{455,000}{12,000} = 38 \text{ Ton/hr} \qquad 1\text{Ton} = 12,000 \text{ BTU}$$

O sea, que se necesita efectuar una refrigeración de 38 Ton/hr.

Este valor se puede comprobar hallando la diferencia entre los calores totales del líquido en las dos temperaturas:

Calor total a 175 °F : 95 BTU/lb

Calor total a 77°F : 28 BTU/lb

lo que nos dá una diferencia de 67 BTU/lb, que multiplicadas por el número de libras que entran nos dá el mismo resultado.

La cantidad de agua evaporado, teniendo en cuenta que a la temperatura de 77°F, la presión necesaria para que hierva el líquido es de 28 pulgadas de vacío, será:

$$\frac{455,000}{1,036} = 442 \text{ lbs/hr; o sea: } 202 \text{ Kg/hr}$$

La evaporación de ésta cantidad de agua, nos dá por resultado que la concentración de la melaza pase de 45° brix a 49° brix.

El aparato escogido pertenece a la firma Ingersoll-Rand, y corresponde en la nomenclatura comercial al # 20.

Según el catálogo de la misma compañía, las cantidades de agua



en la proximidad del tanque de almacenaje para efectuar la descarga de la melaza que llega en los diferentes medios de transporte. Tiene la misma capacidad y dimensiones que la anterior.

Bomba para el enfriador instantáneo.-

Volúmen de melaza por minuto

$$\frac{7,080}{1.2 \times 60 \times 3.785} = 11.5 \text{ g.p.m.}$$

Tomando 100% de sobrecarga, se debe usar una bomba de 23 g.p.m.

Bomba escogida : bomba centrífuga accionada por motor eléctrico de la Worthington Pump; motor de 1/3 H.P. Altura que hay que elevar el líquido es de 6 pies y una longitud de 50 pies.

Bomba del enfriador al tanque.-

El gasto para ésta bomba es el mismo que para la anterior o sea de 23 g.p.m.

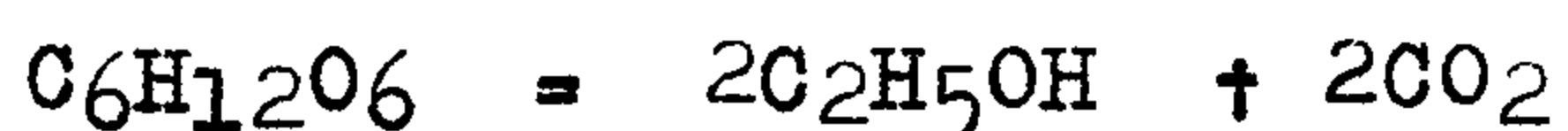
Bomba escogida: bomba centrífuga similar a la anterior. Altura de bombeo 10 pies. Longitud de 60 pies.

PLANTA DE FERMENTACION Y LEVADURA

Generalidades.-

La fermentación alcohólica, o sea el proceso mediante el cual las mieles finales que forman el agua madre de cristalización del azúcar y retiene parte de él ( sacarosa ) y otros más ( glucosa, levulosa, etc ) sufren la transformación de éstos azúcares en alcohol y otros productos, no constituye una transformación química solamente, de las que con mayor o menor grado de propiedad pueden enmarcarse en la expresión de las fórmulas químicas. Por el contrario, la fermentación alcohólica, es la resultante de una compleja red de actos biológicos cuyos efectos, ya sean de orden orgánico, mecánico químico, muchos de los cuales a su vez son causa de nuevos efectos, se acondicionan e influyen mutuamente en la consecución de un fin primordial: el mejor éxito de la célula de levadura que los origina.

Esta enunciación nos hace comprender la inexactitud del concepto que de la fermentación puede sacarse de la igualdad:



porque élla no alcanza a representar la complejidad de cuanto sucede en el ciclo fermentativo, misterioso en la mayoría de sus fases; ni tampoco expresa acertadamente la constitución química de los componentes, ya que intervienen algunos más que la exosa, y se produce no sólo alcohol y anhídrido carbónico, sino también glicerina, ácido succínico y otros compuestos.

Sustituyendo el concepto simplificado de la fermentación por uno más amplio, que abarca complejidades biológicas y químicas, nos acercamos más a la noción de la verdadera naturaleza de la fermentación, y entonces no nos será difícil concebir la enorme trascenden-

cia de la función que desempeña la célula de levadura y transformaciones que realiza, que aún no son completamente comprendidas.

La célula de levadura ha de valerse, para realizar sus funciones vitales, de dispositivos que le permiten obtener del medio circundante en que han de vivir, los elementos nutritivos necesarios. Para ésto cuenta con las operaciones de la ósmosis, y los fermentos o enzimas. Es evidente así mismo, que para una mejor realización de éstas operaciones se necesita la concurrencia de determinados factores y circunstancias, como son:

- 1.- Dilución apropiado del medio
- 2.- Existencia de elementos nutrientes, y forma asimilable de éstos
- 3.- Ausencia de productos nocivos
- 4.- Cantidad de células suficiente
- 5.- Temperatura apropiada, y
- 6.- Grado de acidéz del medio

Los arriba enumerados son algunas de las condiciones fundamentales requeridas por la célula para poder realizar con éxito sus actividades de extraer del medio que lo rodea a través de sus membranas cuanto élla seleccione como necesario a sus elaboraciones energéticas y a otras, cuyo fin es facilitar la provisión; resultante de aquellas son las transformaciones del ciclo fermentativo de que obtiene energía para sí, y de las de provisión, son las enzimas, tanto la que expulsa hacia el medio exterior, tal como la sucrasa y convertir azúcares complejos en exosas, o como la que retiene en su interior para hacerlos intervenir en las fases del ciclo, tal como la alcoholasa.

Las mieles finales de la industria azucarera constituyen en material sobre el que ha de actuar la levadura en las destilerías. Se puede decir que ellas están bien dotadas para servir de elemento nutritivo. Hay desde luego mieles buenas y malas, pero son una excep-



ción las mieles carentes de condiciones de fermentabilidad.

En la melaza es necesario desde el punto de vista de la fermentación atender a sus componentes de aprovechamiento y a sus componentes indeseables. El contenido de azúcares fermentables, cenizas, proteínas, pequeñas cantidades de elementos metálicos: manganeso, cobre y fierro, determinados tipos de coloides, se hallan entre los componentes deseables; en tanto que las sustancias reductoras no azúcares, la glutosa, el caramelo, las sales de calcio en exceso, ácidos que se generan durante el almacenamiento como el láctico, butírico, acético, oxálico, se conceptúan como indeseables, por cuanto entorpecen el normal rendimiento de las mieles en la fermentación. Nuestras mieles muestran en general una buena distribución respecto a ésta clasificación y podemos decir que tienen condiciones para la fermentación alcohólica.

Las mieles llevan así muchas características favorables al desenvolvimiento del ciclo fermentativo, pero las circunstancias que ayudan a su completo desenvolvimiento no siempre están presentes, dando así resultados pobres.

Entre una de las condiciones de gran interés práctico se encuentra el grado de acidéz. Acerca de éste punto, existe la creencia de que basta agregar una porción cualquiera de ácido, minúscula en general, lo que constituye un error. Entre las exigencias de la célula de levadura está la del paso osmótico a través de su membrana, y la mayor facilidad para ésa transferencia la dá una completa disolución de los materiales que tienen que pasar, lo que guarda una completa relación con la ionización de sus disoluciones y en consecuencia con su p.h. De dónde es obvio que se necesita acudir al adecuado ajuste del p.h. del medio en que actúa la levadura.

Las melazas parecen tener un valor de su p.h. óptimo para una me-

jor fermentación y producción de alcohol. Cada miel presenta en sus ensayos de fermentación una o más concentraciones de p.h. que corresponden a rendimientos más altos que los otros. Este punto envuelve una comprobación de difícil estudio, empero se puede derivar una zona de p.h. propicia para cada melaza que es de utilidad práctica.

Existen otros factores de importancia además del control de la acidez, y que no obstante de ello, no son aplicadas en muchas destilerías. El control de la temperatura durante la fermentación, es en verdad algo costoso, pero se traduce en ventajas positivas. La presencia de elementos indeseables puede resolverse en parte con la depuración de los mostos. La provisión adecuada de sustancias nutritivas y el aseguramiento de células suficientes, afianzan el buen resultado. Todos éstos factores, aumentan el costo de producción, pero la mayor producción de alcohol paga ampliamente estos desembolsos.

El proceso de fermentación se lo puede dividir en dos clases, que son debidas a las diferentes maneras de manipular la melaza en las diversas fábricas del país:

a.- fermentación natural, y

b.- selección y cultivo de levadura con fermentación controlada

Podemos recalcar, que en nuestro país, la destilación del alcohol casi en su totalidad se realiza en forma primitiva por fermentación espontánea, lo que dá por resultado que el rendimiento de éstas en la mayoría de los casos llegue escasamente a algo mas del 50%.

La selección de la levadura, tiene como principal objeto proporcionar un preparado de mayor pureza con el objeto de obtener mejores rendimientos. Para conseguir ésto, la melaza primeramente debe llevarse a condiciones apropiadas, por lo que se le añade agua para tener el azúcar en la concentración deseada, generalmente de 12%

o sea un brix que varía entre 15 a 20 grados. Cuando la concentración es muy elevada, reacciona de una manera inversa en la levadura, ésto es que el alcohol producido puede inhibir la acción de la levadura, con la consecuencia de que el tiempo de fermentación es prolongado, y ciertas cantidades de azúcar no son propiamente utilizadas. El uso de muy bajas concentraciones de azúcar es antieconómico como que puede darnos pérdidas de espacio fermentable, en adición a una mayor cantidad de mosto que debe ser destilado para producir la misma cantidad de alcohol.

Aunque las melazas contienen la mayoría de las sustancias nutritivas requeridas para la fermentación, sales de amonio como sulfato, fosfato, cloruro, pueden ser añadidas para suplir las deficiencias de nitrógeno y potasio. Así mismo la presencia de sales metálicas tales como sulfato de manganeso, cianuro de sodio, tienen efectos estimulantes en la fermentación.

#### Preparación del cultivo.-

Para comenzar la operación de fermentación de una carga de melaza diluida con agua, que puede tener la magnitud de muchos miles de litros, debe inocularse levadura a una concentración de 3 a 7 millones de organismos por ml. ésto representa una cantidad de levadura que varía entre el 3% al 5% del volumen de la carga; y ésta levadura debe ser de preferencia de cultivo puro, esto es de un cultivo selecto sin contaminaciones con levadura salvaje que abunda en la atmósfera.

Se distinguen dos tipos bien definidos de levaduras cultivadas, según su acción sobre el medio a fermentar: las levaduras "altas, que son las más usadas y trabajan a temperaturas mas bien elevadas y las levaduras "bajas", especialmente usadas en las cervecerías. Al primero de los tipos pertenece el *Saccharomyces cereviciae*.

Las levaduras de fermentación alta, tienen una acción bastante

rápida; su temperatura óptima de trabajo se encuentra entre los 25°C a 30°C. Las otras requieren temperaturas no mayores de 6°C, actúan mas lentamente y desde el fondo mismo de la cuba de fermentación.

Se trata pues de conseguir primeramente un cultivo adecuado, generalmente del tipo *Saccharomyces cereviciae*, o de "Terule" con el que se prepara la primera siembra. El medio primario es un compuesto de carbohidrato y malta, variando de acuerdo a las experiencias obtenidas en cultivos anteriores. Luego se prepara una pequeña cantidad de melaza de un brix de 18°. El valor del p.h. es conveniente controlarlo para valores entre 4.8 - 5.0 por medio del ácido sulfúrico; y unos cuantos gramos de sustancia nutrientes como sulfato, fosfato o cloruro de amonio, que dependen del análisis de la melaza. Este líquido, que ha sido precisamente clarificado y filtrado primero, se le esteriliza durante 60 minutos.

Se hace una inoculación del cultivo por medio de un alambre de platino a 2 tubos de ensayo, cada uno de los cuales tiene 10 cc. de sustancia nutriente. El período de incubación, que dura 24 horas a una temperatura entre 25°- 30° centígrados, que es la más apropiada para el desarrollo de la levadura, es seguido por una nueva inoculación al finalizar, se toman dos partes de 5 cc. del tubo de muestra en el que se ha observado mas activa fermentación y se inoculan en dos frascos de 100 cc. de medio nutritivo. Este cultivo sirve de base para uno nuevo de 10 litros, punto dónde termina la fermentación de laboratorio, siendo las posteriores ya en escala mayor, para producir semillas en cantidad suficiente, como en tanques de 100, 1.000, y 10.000 litros.

Durante los procesos de cultivo de laboratorio, la cantidad de levadura que se inocula es el 5% del volumen del medio a inocularse; pero a partir de los cultivos mayores, se puede rebajar esta

cantidad a un 2% o 3% .

Como se vé, de los incubadores de 10 litros, los cultivos pasan por los proliferadores, propagadores y pre-fermentadores, en donde se realiza la parte de la preparación de la semilla en escala mayor. Una vez que está el cultivo en el pre-fermentador, se pueden sacar semillas que se usan para inocular otros fermentadores, salvándose así todo el trabajo preliminar de cultivo descrito anteriormente. Sin embargo, se debe inocular un cultivo puro por lo menos en la semana.

El sistema antiguo, muy generalizado en nuestro medio, consiste en tomar una parte de melaza que ya está en fermentación y añadiendo dos partes de melaza diluida a 18° brix, se la deja fermentar, al cabo de 12 horas, se separa nuevamente una tercera parte que se emplea como semilla para otro recipiente; este proceso se vá repitiendo constantemente, alimentando así todos los recipientes.

#### Calidad de la levadura.-

La levadura que se vá a emplear en la fermentación alcohólica debe reunir ciertos requisitos, de los cuales depende la eficiencia del proceso. Ellos son:

- 1.- Debe contener una elevada cantidad de zimasa así como diastetas, que permitan transformar de la manera más completa posible los carbohidratos complejos en sustancias fermentables.
- 2.- Debe ser capaz de resistir la acción del alcohol.
- 3.- No debe exigir excesiva cantidad de aire para multiplicarse
- 4.- La duración de la fermentación debe ser lo mas rápida posible, a fin de retardar el desarrollo de bacterias perjudiciales.
- 5.- Debe resistir elevadas cantidades de ácido.
- 6.- No debe necesitar muy altas temperaturas para su desarrollo, ya que una temperatura elevada es motivo de pérdida de alcohol.

7.- Debe contener suficiente cantidad de enzimas proteolíticas de modo que actúe sobre la sustancia a fermentar, a fin de volverla mas asimilable.

#### Fermentación.-

La melaza que sale de las centrifugas, es enfriada a unos 77°F mas o menos, que es la temperatura de sedimentación de los fermentadores. Sin embargo, esta temperatura varía con las estaciones de manera que después de diluirse con la correspondiente cantidad de agua, el mosto tiene la temperatura de asentamiento correcta, y una densidad entre 18° a 20° brix.

La fermentación procede satisfactoriamente cuando el mosto ha sido ajustado a un p.h. entre 4.5 - 5.0 que favorece a la levadura, y es suficientemente bajo como para inhibir el desarrollo de muchos tipos de bacterias. Comunmente se usa ácido sulfúrico para el ajuste de éste p.h., aunque también es satisfactorio el empleo del ácido láctico.

La semilla se mezcla con el mosto de diferentes maneras que dependen del tipo de fermentador que se use. En nuestro caso, el flujo del mosto y de la semilla convergen sobre un obstáculo formado por dos planchas como techa a 2 aguas, en donde se van mezclando conforme van cayendo, y luego esta mezcla es repartida a los tanques respectivos.

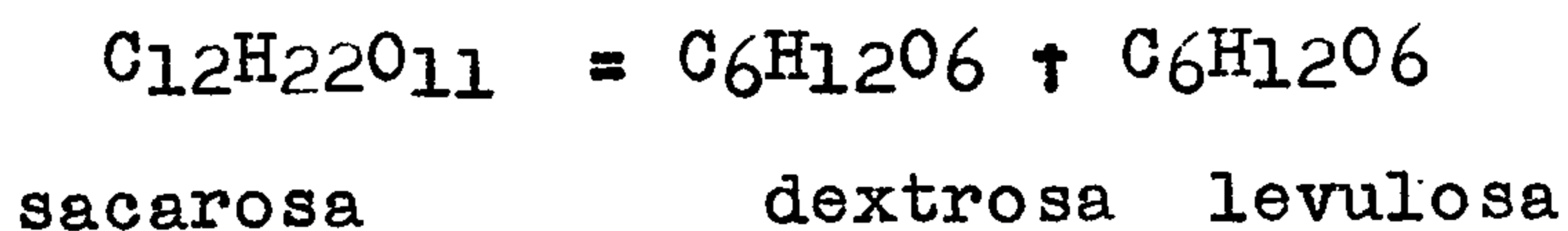
En las primeras horas de la fermentación, tiene lugar la multiplicación de la levadura que llega hasta una concentración de 150 millones de células por ml. mas o menos, cantidad que varía con la semilla usada. La temperatura óptima para la propagación de la semilla es de 25° - 31° C, temperatura que se mantiene en el fermentador por medio de una corona rociadora. Luego se establece una fermentación vigorosa llamada hervido, durante la cual se desprende el

anhidrido carbónico rápidamente. La temperatura óptima para la formación de alcohol es de 32° - 35° C, y ésta temperatura también se la mantiene por el sistema de enfriamiento. La duración de los diversos pasos puede variar ampliamente, y el período del hervido que es el más grande dura de 20 a 30 horas.

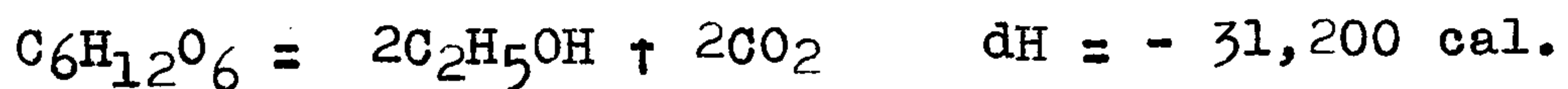
Después del hervido la fermentación se vuelve más lenta con un gradual aumento en la concentración de alcohol. El tiempo total puede variar de 36 a 48 horas, dependiendo de la temperatura, concentración de azúcar y otros factores. El brix final es de 9 grados.

#### Reacciones.-

Como el alcohol es formado por la levadura, accionando sobre los monosacáridos, es necesario el desdoblamiento de la sacarosa en dextrosa y levulosa. La levadura provee un organismo catalítico o enzima llamada invertasa que efectúa la hidrólisis:



La levadura así mismo produce enzimas, la zimasa, que produce la transformación del monosacárido en alcohol y anhídrido carbónico:



La transformación del azúcar en alcohol y anhídrido carbónico, va acompañada de la formación de diversos productos secundarios como la glicerina y ácido succínico en una proporción de 5%-6% del azúcar descompuesto, pequeñas cantidades de aceites formados principalmente por alcohol amílico y productos de los materiales protéicos del mosto.

La fermentación va acompañada siempre de desprendimiento de calor que es el resultado de los varios procesos químicos que se verifican durante la fermentación como su inversión, su descomposición en los productos de la fermentación, refiriéndose al azúcar, y la disolución del alcohol formado en agua.

### Separación de la levadura.-

Este paso es uno de los objetivos del presente trabajo, o sea la recuperación de la levadura del mosto fermentado antes de llevarlo a su desalcoholización, y que se encuentra en suspensión en el líquido.

En los procedimientos sin recuperación, el mosto fermentado es bombeado a las columnas para su desalcoholización, el residuo de la destilación contiene levadura y sulfato de calcio parcialmente precipitado, que si se los tratara por sedimentación, el cieno recuperado contendría muy bajo porcentaje de levadura y una alta proporción de cenizas debido a la presencia del sulfato de calcio.

Con el proceso actual, el 80% del  $\text{CaSO}_4$  es eliminado antes de la fermentación. El sulfato de calcio que queda en la melaza no se separa después con las futuras diluciones, ya sea durante la fermentación o la desalcoholización, y por ésto la levadura recuperable tiene bajo porcentaje de cenizas.

La levadura contenida en el mosto, pasa primero por un separador primario, dónde tiene lugar una separación parcial; la relación del sedimento de levadura al líquido claro es de 1:4. Este cieno está aún muy diluido para seguir el proceso, por lo que se lo pasa por un segundo separador, en éste paso, la relación del sedimento al líquido claro es de 1:10 aproximadamente. Estas relaciones son el resultado del material sometido a la separación. El sedimento resultante del segundo separador, tiene la consistencia necesaria para los fines del secado posterior, pero debido a las impurezas gomosas originalmente presentes en la melaza, no puede secarse debidamente, por lo tanto se agrega agua suficiente al sedimento de levadura en el segundo separador de manera que al centrifugarse produce una levadura de un colo más claro y mejor calidad que seca mejor. La se-





y con las siguientes características: de cobre, internamente estalado, y con los accesorios necesarios.

2.- Dos proliferadores. Tendrán una capacidad de 1,000 litros cada uno. Serán de cobre internamente estañados y con sus respectivos accesorios

3.- Cuatro pre-fermentadores, con una capacidad de 5,000 litros cada uno. Serán de acero, abiertas, con fonde ligeramente cónico, con corona rociadora de agua y accesorios respectivos.

4.- Fermentadores. Siendo el volúmen de líquido que se va a fermentar después de todos los procesos anteriores de 181,650 litros por día, y considerando la capacidad de cada cuba de fermentación de 70,000 litros, se necesitarán:

$$\frac{181,650}{70,000} = 3 \text{ cubas}$$

considerando el ciclo de trabajo de 48 horas, y considerando además un día mas para la carga y descarga y lavada de la misma, el número de cubas necesario será:

$$3 \times 3 = 9 \text{ cubas}$$

Estas cubas son de acero y tienen las mismas características de los pre-fermentadores.

#### Separadores.-

Para efectuar una buena separación se ha escogido el tipo de separador centrífugo De-Laval, que tiene muy buenas características en su construcción para el manejo de estos materiales.

Como se indicó anteriormente, debido a la concentración de las células de levadura, la separación primaria se hace en la relación de 1:4

Separador primario.- Valores por día:

	35,560 litros de levadura
178,000 litros	142,500 litros de líquido claro



$$107.17 \times 983 \times 1 \times 2.2 = 231,000 \text{ BTU/hr}$$

$$\text{Calor Total : } 263,600 \text{ BTU/hr}$$

Usando vapor a una presión de 60 libras por pulgada cuadrada

$$\frac{263,600}{905} = 290 \text{ lbs/hr}$$

Tomando una eficiencia del aparato de 70%

$$\frac{290}{.70} = 415 \text{ lbs/hr de vapor necesarias}$$

Area.- Según datos del manual de Perry, un secador del tipo que se vá a usar, tiene un valor del coeficiente total U, en condiciones ordinarias de 30,

luego aplicando la fórmula:  $Q = U \times A \times (dt)_m$

$$(dt)_m = 170 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$U = 30 \text{ BTU/hr} \times \text{p}^2 \times \text{ }^\circ\text{F}$$

$$, Q = 263,600 \text{ BTU/hr}$$

en dónde:

$$A = \frac{263,600}{170 \times 30} = 51.5 \text{ pies cuadrados}$$

El tipo de secador que se usará es de doble cilindro, atmosférico, con un área de 51.5 p<sup>2</sup>, que corresponde a las dimensiones comerciales de: 32" x 52", con una velocidad de 5 r.p.m. y movido por un motor eléctrico de 3 H.P.

Tanque de mosto.-

Recibe este tanque el mosto proveniente de los fermentadores, y tiene una capacidad de almacenaje de 1 hora de trabajo

Volúmen del tanque:

$$\frac{181,650 \times 1}{24} = 7,600 \text{ litros}$$

$$\text{más un 10\% de capacidad} \quad \underline{760 \text{ litros}}$$

$$\text{Total} \quad \underline{8,360 \text{ litros}}$$

Dimensiones: Diámetro: 2.70metros  
Altura : 1.50metros



Bomba para la columna.-

Volúmen de mosto por minuto:

$$V = \frac{178,000}{24 \times 60 \times 3.78} = 33 \text{ g.p.m.}$$

La bomba que se usará tomando un 100% de sobrecarga será de 66 g.p.m.

Bomba escogida: Bomba centrífuga de la Worthington Pump, accionada por un motor eléctrico de 1 H.P. Carga total de 23 pies. Material de bronce.

## CONTAMINACIONES EN LAS DESTILERIAS.- METODOS DE CONTROL

### Generalidades.-

Las contaminaciones de microorganismos en la producción de alcohol etílico, como en la totalidad de las fermentaciones industriales, son decisivamente perjudiciales, ya que en la mayoría de los microorganismos contaminantes interfieren negativamente en el proceso fermentativo, disminuyen el rendimiento dificultando las operaciones posteriores y afectando la calidad del producto final.

Las bacterias producen los siguientes efectos perjudiciales:

- 1.- Valores de p.h. demasiado bajos, los cuales interfieren en las actividades de algunas de las enzimas de la levadura evitando la conversión de azúcares no fermentables en glucosa u otros azúcares fermentables.
- 2.- Producción de verdaderas toxinas para la levadura, y ácidos que afectan la actividad fermentativa de las células, así por ejemplo: el ácido acético acético ( con una concentración de 0.3% ) éste ácido prácticamente detiene la fermentación.
- 3.- Parte del azúcar es convertida en ácido en lugar de alcohol.
- 4.- Producción de sustancias que dan gustos extraños en los productos finales y dificultan la operación en las columnas.

Las principales contaminaciones en las destilerías son producidas por las bacterias. Las bacterias más dañinas a la fermentación alcohólica son en orden creciente de importancia los siguientes:

Especies del grupo *Bacillus Lactis Acidi*; especies del grupo *Bacillus coli aereogenes*; especies del grupo *Bacterias vulgaricum*, y por último las bacterias productoras del vinagre.

Las especies del primer grupo: *Bact. lactis acidi*, están ampliamente distribuidas en la naturaleza. Sus temperatura óptimas están entre los 3° y 35° C, y la de máximo desarrollo de 42°C. Estas bac-

terias son responsables de la contaminación en fermentaciones que terminan en grados brix muy altos.

Las especies del grupo Bact. coli aereogenes, varían de unos a otros en forma, características de cultivo y en los productos de su actividad. Su temperatura óptima es de 35° - 40° C. Este grupo forma mayor proporción de ácidos volátiles que el anterior, y pueden causar fermentaciones muy defectuosas, al extremo de causar la muerte de fermentaciones de brix alto.

Las especies pertenecientes al grupo Bact. vulgaricum pueden causar fermentaciones defectuosas pero sus daños son menos frecuentes y existe una ventaja en su sensibilidad a la acidéz, por lo cual, se evita facilmente su propagación y desarrollo.

Las bacterias del vinagre son responsables de grandes pérdidas en las fermentaciones que no se han destilado. En caso de descuido pueden causar fermentaciones pobres si el fermentador estaba contaminado previamente con éstas bacterias y no se realizó su limpieza satisfactoria. Las principales especies de éste grupo son: Bacterium acetii y Bacterium pasteranum.

#### Origen de las contaminaciones.-

Las principales causas de infección en la fermentación se pueden enumerar como sigue:

- a.- levaduras o cultivos contaminados.
- b.- aguas contaminadas
- c.- bacterias del aire
- d.- fermentadores impropriadamente limpios
- e.- equipo en malas condiciones sanitarias
- f.- restos de fermentación en los codos, válvulas, etc.

Los cultivos puros de levadura pueden contaminarse por cualquier descuido al verificarse una siembra en el laboratorio, por esterili-



zación defectuosa del medio nutriente. El uso de un cultivo puro contaminado, o una levadura comercial contaminada, causan graves perjuicios debido al desarrollo bacteriano que da lugar el tiempo de demora antes de llegar el cultivo al fermentador.

Bacterias en el agua.- Todas las aguas naturales contienen bacterias y otros microorganismos; estas bacterias ganan acceso al agua por medio del aire, arrastradas en las tierras, etc. La mayoría son inofensivas al hombre, pero pueden causar contaminaciones muy peligrosas en las industrias de fermentación. Las bacterias mas peligrosas que pueden venir en el agua son el Bact. coli y el Bact. lactis.

La cantidad de materia orgánica en las aguas es la mejor indicación microscópica de su contaminación, ya que la causa principal para su purificación natural está en la insuficiencia de nutrientes para los microorganismos cuando el agua tiene muy poca materia orgánica. Es decir, la eliminación de las bacterias en el agua es conjunta con la eliminación de las materias orgánicas.

Bacterias del aire.- La evolución del  $\text{CO}_2$  de los pre-fermentadores y fermentadores abiertos no impide que las bacterias en las gotas de agua y partículas de polvo del aire contaminen los cultivos. El aire no tiene flora bacteriana propia, lo que hace que las bacterias e intensidad de las contaminaciones que lleva dependan del medio; de ahí la importancia de mantener piso, paredes, exterior de fermentadores, etc. en buen estado de limpieza y desinfección.

Los fermentadores sucios y aún mal desinfectados, pueden tener contaminaciones serias existentes en estado inicial en el líquido fermentado anterior. Las tuberías que conducen los cultivos a los fermentadores pueden tener focos de contaminación. Los mezcladores y otros equipos en malas condiciones de sanidad pueden constituir serias amenazas de infección.

Métodos de control.-

El método principal de control de las contaminaciones es la observación microscópica de todos los cultivos en su ciclo de laboratorio y durante todas las etapas en la planta, antes de usarse como inoculación de un fermentador. Estas observaciones permitirán tomar medidas preventivas necesarias para evitar contaminaciones serias en la fermentación.

Las medidas de control de las infecciones bacterianas se pueden resumir en los siguientes párrafos:

- 1.- Limpieza y esterilización de los equipos de cultivo de levadura y de fermentación propiamente dichos.
- 2.- Flujo continuo
- 3.- Temperaturas selectivas
- 4.- Reducción del contenido de agua en las preparaciones de los cultivos, pre-fermentadores y proliferadores.
- 5.- Control del p.h.
- 6.- Adición de sustancias químicas que evitan el desarrollo de las bacterias

La construcción del equipo mezclador de melaza, equipo de fermentación, es uno de los factores más importantes para prevenir las contaminaciones. Los cultivos se adhieren a los finales de las tuberías en las líneas poco usadas o en válvulas que se abren poco y en las conexiones con instrumentos. Estas porciones de cultivos constituyen medios apropiados para la multiplicación de las bacterias ya presentes en las mismas y provenientes de cualquiera de los orígenes ya mencionados y se convierten en el foco de infección para los cultivos que circulan por las tuberías y se ponen en contacto con ellos. Para eliminar esto se debe tomar las siguientes medidas:

- 1.- Eliminar todas las conexiones innecesarias.

- 2.- Reducir a un mínimo las tomas de muestras como grifos, etc.
- 3.- Las instalaciones de la línea de agua de limpieza se harán al principio de las tuberías de inoculación, lo que permitirá la limpieza total del equipo.
- 4.- Los desagües a las zanjas se harán en las partes más bajas de las tuberías.
- 5.- Todas las líneas de cultivo y fermentación se proveerán con líneas de vapor que permitan su desinfección y esterilización.
- 6.- Deben preferirse las válvulas macho en las tuberías de los cultivos para no tener espacios abiertos.

Flujo continuo.- Debe tratarse de mantener las tuberías en un flujo continuo, pues en las paradas, si no se verifica una desinfección a fondo se crean depósitos de contaminaciones.

Temperaturas selectivas.- Experiencias de laboratorio ampliamente comprobadas han demostrado que las bacterias se desarrollan con mayor dificultad, y su actividad es mucho menor a temperaturas menores de 32°C. Si los fermentadores se mantienen a temperaturas inferiores a la señalada, las levaduras se desarrollarán con mayor rapidez que las bacterias a causa de tener temperatura más apropiada, inhibiendo con su actividad el desarrollo de las bacterias.

Reducción del contenido de agua.- El agua es necesaria a la actividad bacteriana. Esta es la razón por la cual se deben usar preparados de grados brix altos en los medios de cultivo, proliferadores, etc. Esto se basa en que a una mayor concentración de sólidos en una solución corresponde una mayor presión osmótica, esta mayor presión causa la plasmólisis de las bacterias, y en algunos casos, dificulta su desarrollo. Es un buen método usar como concentración valores de 18° a 20° brix.

Control del valor del p.h.- El desarrollo de las bacterias puede

controlarse dentro de ciertos límites por el uso de valores de p.h. apropiados. Existe la ventaja de que las levaduras resisten la acidez, en tanto que la mayoría de las bacterias no se desarrollan en medios con valores de p.h. inferiores a 5.00.

El ajuste del p.h. a un grado apropiado debe hacerse de una manera inmediata, ya que al bajar el p.h. es de poco valor una vez que las bacterias se han reproducido.

Adición de sustancias químicas.- Existen criterios variados con respecto al uso de sustancias químicas para contrarrestar el desarrollo de las bacterias. Algunas destilerías de Cuba usan ácido salicílico, y en los Estados Unidos usan bifluoruro de amonio. Sin embargo es necesario aclimatar la levadura desde su ciclo en el laboratorio a estas sustancias, afin de evitar malos efectos en la planta.

## PLANTA DE DESTILACION

### GENERALIDADES.-

El líquido final que sale de los separadores, constituye la base de la que por medio de la destilación se obtiene el alcohol. Este líquido, sale después de los procesos sometidos con un valor promedio de 6% de concentración de alcohol por volumen.

El mosto contiene en adición al alcohol y agua, material sólido en suspensión, gran cantidad del cual ha sido previamente separado en procesos anteriores; sales disueltas de varias clases y un número de sustancias más o menos volátiles; que son los sub-productos de la fermentación. Las materias sólidas y no volátiles pueden ser fácilmente removibles por una simple destilación, pero las impurezas volátiles son mucho más difícil de eliminar.

### Sub-productos.-

Los principales sub-productos en la destilación del alcohol, lo constituyen las vinazas y el aceite fusel.

Vinazas.- Las vinazas provenientes de la fermentación de granos es rica en proteínas: 28% - 30% en base seca, y además tiene un gran contenido en vitaminas, especialmente del complejo B ( tiamina y riboflavina ) y un alto valor alimenticio.

Las vinazas de la melaza, aunque no son tan ricas y buenas como la de los granos, puede ser concentrada por calor y utilizada como sustituto de la melaza en alimentación, como fertilizante por su contenido en fosfato y potasio junto con otros componentes, como adhesivo en piedras artificiales; briquetas, etc.

Aceite fusel.- Pequeñas cantidades de alcoholes elevados, principalmente amílico y butílico, en sus varias formas isómeras, son pro-

ducidos en la fermentación, los que se cree que son debidos a productos de degradación de las proteínas en las materias primas, y se les conoce con el nombre de aceite fusel.

Los alcoholes butílico y amílico, a diferencia del etílico, no son miscibles con el agua en todas proporciones. Así, una mezcla de alcoholes amílicos isómeros con agua, forma dos capas, la superior contiene cerca de 9.3% de agua en alcohol amílico, la inferior contiene 2.4% de alcohol amílico en agua. Desde que las dos capas están en equilibrio, deben tener la misma tensión de vapor; así: 2.4% de alcohol amílico en agua ejerce la misma presión parcial de alcohol amílico que una mezcla de 90.7% de alcohol amílico y 9.3% de agua. Por éso una pequeña cantidad de éste alcohol en agua, ejerce una gran presión parcial de vapor.

El aceite fusel es un líquido marrón amarillento, con un gusto nauseabundo y un olor sofocante característico; su composición varía con la fuente de donde proviene, siendo para la melaza:

Alcohol isopropílico	0.6%
alcohol propílico normal	24.3%
alcohol isobutílico	7.4%
alcohol butílico normal	8.1%
alcohol amílico activo	55.3%
alcohol amílico normal	4.3%

Las cantidades de aceite fusel producidas durante la destilación son variables, dependiendo de la materia prima usada, condiciones de fermentación y modo de operar las columnas. En nuestro caso la producción es de 4 litros de aceite por mil litros de alcohol producido.

#### Proceso de destilación.-

El sistema de destilación escogido, es el de dos columnas de platos que trabajan de manera continua, la primera como columna de des-

tilación y la segunda como columna de rectificación.

De manera general, el proceso consiste en hacer pasar el licor a desalcoholizarse previamente por un intercambiador de calor, con el objeto de acercar su temperatura lo más posible al punto de ebullición de dicho mosto, e ingresar a la primera columna por la parte superior de ésta. En esta columna, que hace el efecto de un evaporador, sufre el mosto una concentración desde el punto inicial de 6% de alcohol por volúmen que tiene a la entrada, hasta un valor del 50% por volúmen; lo que se consigue conforme vá el mosto bajando a través de la columna y perdiendo gradualmente sus constituyentes más volátiles como el alcohol y pequeñas cantidades de aldehidos. El licor descargado por la parte inferior de la columna, se le usa en el intercambiador de calor a su salida. El producto superior, compuesto de alcohol, aldehido y agua, llamado flema, pasa en una pequeña parte al deflegmador, donde se realiza la condensación del liquido necesario para el reflujo, y el escape de los no condensables; y la otra parte, pasan a la segunda columna para su rectificación.

En la columna de rectificación se lleva a cabo el enriquecimiento y separación del producto final de la siguiente manera: el vapor de la parte superior pasa al deflegmador dónde es parcialmente condensado para mantener el alcohol más rico, y proporcionar el reflujo, los productos volátiles como aldehidos y algo de alcohol son totalmente condensados y recogidos en tanques. Cerca del terminal superior de la columna se recoge el alcohol de 95° el que es condensado y almacenado. En un punto intermedio de la columna se separa el aceite fusel, y en el inferior el agua.

#### COLUMNA DE DESTILACION.-

Para los efectos del cálculo de las columnas, se ha considerado al mosto como un compuesto binario de alcohol y agua, puesto que las

cantidades de los otros constituyentes son en valor muy pequeñas comparadas con los dos principales. Así mismo la capacidad de las columnas está tomada a base de la cantidad teórica de alcohol que se puede producir.

Balance de materias.-

La alimentación a la columna es de 178,000 litros diarios de mosto, con una cantidad teórica de alcohol de 12,950 litros. En valores molares tenemos:

$$\begin{aligned}
 12,950 \times .79/46 &= 222 \text{ moles} && - && 2.38\% \text{ alcohol} \\
 165,050 \times 1/18 &= 9200 \text{ moles} && - && 97.70\% \text{ agua}
 \end{aligned}$$

La columna concentra el contenido alcohólico del mosto hasta un 23.6% en la parte superior, siendo el residuo de la parte inferior el licor con un porcentaje de alcohol de 0.05 mol por ciento.

Tomando como base 100 moles de alimentación, y haciendo un balance de alcohol:

$$2.38 = 0.236 D + 0.0005 R$$

$$D + R = 100$$

de dónde:

$$D = 9.8 \text{ moles}$$

$$R = 90.2 \text{ moles}$$

Para una alimentación total de 9,422 moles diarias, se tiene:

9,422	/	222	\	218	-	23.6% alcohol
	-	9200		706	-	76.4% agua
				924		
				4.3	-	0.05% alcohol
				8494.0	-	99.9 % agua
				8498.3		

Reflujo óptimo.-

Para un mejor trabajo de las columnas, se debe escoger el reflujo óptimo al que deben trabajar. Este reflujo óptimo puede tener valores



que varían entre 1.5 a 5 veces el reflujo mínimo. En nuestro caso, vamos a considerar el valor de 2 veces el reflujo mínimo.

Aplicando la fórmula:

$$R_{\min} = \frac{x_d - y'}{y' - x'}$$

Dónde:

$x_d$  = concentración en el destilado

$y'$  = concentración del vapor en equilibrio con el líquido a la entrada

$x'$  = concentración del líquido a la entrada

De la curva de equilibrio respectiva sacamos los valores y reemplazando tenemos:

$$R_{\min} = \frac{23.6 - 20}{20 - 2.38} = 0.204$$

Entonces el valor del reflujo óptimo será:

$$\text{Reflujo óptimo: } 2 \times 0.204 = 0.408$$

#### Número de platos.-

El cálculo del número de platos necesarios se resuelve por el método gráfico, para el cual, como en nuestro caso en que la alimentación no entra a la temperatura de ebullición, es necesario calcular la inclinación de la línea q.

La temperatura de ebullición de la alimentación es de 95.5°C, y en el precalentador el mosto alcanza la temperatura de 88°C, este último valor se comprobará en el cálculo del precalentador.

La alimentación es de 181,500 kilos por día, que equivalen en moles a 9,422, de dónde el peso molecular promedio es:

$$\frac{181,500}{9,422} = 19.25$$

Siendo el calor específico de la alimentación de 1.01 calorías, éste valor en calorías por gramo-mol será:

$$19.25 \times 1.01 = 19.45$$

Para convertir un gramo-mol de alimentación en vapor saturado se necesitarán:

Calor sensible: 19.45 x ( 95.5 - 87 ) = 165 calorías

Calor latente : 9,600 calorías

Calor total necesario: 9,765 calorías

De dónde el valor de q será:

q =  $\frac{9,765}{9,600} = 1.01$

y la pendiente de la línea q será:

pendiente:  $\frac{1.01}{1.01 - 1} = 0.001$

Resolviendo con los datos obtenidos por el método gráfico, nos dá por resultado que el número de platos teóricos necesarios es de 8 y considerando la eficiencia de la columna de un 70%, el número de platos prácticos es 12 . La alimentación está en el plato 3.

Diámetro de la torre.-

Gasto de vapor:  $\frac{924}{24} = 38.5$  moles por hora

moles de vapor que suben por la columna:

38.5 x ( 1 + 0.408 ) = 54 moles por hora

que a las condiciones de trabajo de la columna se convierten en:

$\frac{54}{3,600} \times 359 \times \frac{368.5}{273} = 7.27$  p<sup>3</sup>/seg

Tomando una velocidad para los vapores de 1 pie/seg

D<sup>2</sup> =  $\frac{7.27 \times 4}{x 1} = 9.25$  p<sup>2</sup>

de dónde el valor de D es:

D = 3.08 pies = 0.925 metros

Consumo de vapor.-

De la ecuación:

$\bar{V} = F ( q - 1 ) + V$  en que:

$\bar{V}$  = vapor que sube de un plato inferior al de la alimentación

F = número de moles de alimentación en un tiempo determinado

V = vapor que sube de un plato situado sobre la alimentación

reemplazando sus valores hallamos que:

$$\bar{V} = \frac{9,422}{24} (1.01 - 1) + 54 = 57.93 \text{ moles/hr}$$

Siendo el calor latente de vaporización para una mezcla de alcohol y agua de 9,600 calorías por gramo-mol o sea 17,200 BTU/lb-mol y usando un vapor a una presión de 60 libras por pulgada cuadrada, que proporcionan 905 BTU/lb, la cantidad de vapor necesaria será:

$$\frac{17,200}{905} \times \bar{V} = \frac{17,200}{905} \times 57.93 = 1,100 \text{ lbs/hr}$$

Cálculo del precalentador.-

El mosto antes de su ingreso a la columna, sufre un calentamiento previo, con el objeto de alcanzar una temperatura lo más cerca posible a su punto de ebullición, calentamiento que se efectúa en un intercambiador de calor aprovechando del residuo inferior de la columna.

Cantidad de libras de mosto : 16,600 lbs/hr

Cantidad de libras de residuo: 14,000 lbs/hr

Siendo la temperatura de la parte superior de la columna de 180°F ó 82°C, y suponiendo una caída de presión entre plato y plato de 1.5 pulgadas; la pérdida total de presión en toda la columna será:

$$1.5 \times 12 = 18 \text{ pulgadas}$$

Luego la presión en la base de la columna será:

$$14.7 + 18 \times \frac{0.433}{12} = 15.35 \text{ lbs/pulg}^2$$

que corresponden a una temperatura en la base de 215°F ó 101.6°C.

El calor absorbido por la alimentación al calentarse desde 80°F

a 188°F es:

$$16,600 \times 1.01 \times (188 - 80) = 1,815,000 \text{ BTU}$$

la temperatura final del residuo será:

$$1,815,000 = 14,000 \times 1 \times dT$$

dónde:  $dT = 129^\circ\text{F}$

temperatura final:  $215 - 129 = 86^\circ\text{F}$

Para calcular el área de calentamiento necesaria, aplicamos:

$$Q = U \times A \times (dT)_m$$

$$U = 250 \text{ BTU/hr/p}^2/\text{°F}$$

$$dT_m = 14^\circ\text{F}$$

aplicando:

$$1,815,000 = 250 \times 14 \times A$$

$$A = 520 \text{ pies cuadrados}$$

Usando tubería de 1 pulgada de diámetro, el área por pie de longitud será:  $1/12 = 0.262$  pies cuadrados, la longitud total necesaria será:

$$\frac{520}{0.262} = 1,980 \text{ pies}$$

y el número de tubos necesario, para una longitud de tubo de 12 pies

$$\frac{1,980}{12} = 165 \text{ tubos}$$

Luego, se necesitará un precalentador de 6 pasos de 28 tubos cada uno, con 1 pulgada de diámetro y 12 pies de longitud por tubo.

#### Deflegmador.-

El deflegmador realiza la condensación de vapor necesaria para suplir el reflujo, haciendo el trabajo de un plato más, pues favorece el enriquecimiento de los vapores finales.

La cantidad de reflujo necesaria para la columna es de:

$$38.5 \times 0.408 = 15.7 \text{ mol/hr}$$

que corresponden a:

$$\frac{15.7 \times 25,400}{924} = 432 \text{ lit/hr}$$

y con una densidad de 0.93, su equivalente en peso es: 885 lbs/hr

El alcohol se condensará por fuera de los tubos a una temperatura de 180°F, sin enfriamiento posterior. El agua usada para la condensación entra a 80°F, y a una razón de 25 g.p.m.

Siendo el calor latente de condensación del alcohol de 370 BTU/lb

Calor entregado por el alcohol al condensarse:

$$885 \times 370 = 327,000 \text{ BTU}$$

El aumento de temperatura del agua será:

$$327,000 = 25 \times 8.34 \times 60 \times dT$$

$$dT = 26.1^\circ\text{F}$$

Luego el agua de condensación entrará a 80°F y saldrá a 106.1°F

Para hallar el área necesaria aplicamos:  $Q = U \times A \times (dT)_m$

dónde:

$$(dT)_m = 86^\circ\text{F}$$

y suponiendo un valor de  $U = 150 \text{ BTU/hr/p}^2/^\circ\text{F}$ , el área aproximada necesaria será:

$$A = \frac{327,000}{150 \times 86} = 25.4 \text{ pies cuadrados}$$

En el catálogo respectivo y para las condiciones que tomamos: vapor que circula por el exterior, y el agua por los tubos, probamos un tipo de intercambiador de 4 pasos con 24 tubos de  $3/4''$ , lo que nos dá un área total de:

$$24 \times 0.1963 \times 6 \text{ pies de longitud} = 28.2 \text{ p}^2$$

Luego calculamos el valor verdadero de  $U$  :

$$1/U = 1/h_o + 1/h_i + L_w/k_w + L_o/k_o + L_i/k_i$$

dónde:

$h_o$  = coeficiente de película para el medio exterior a los tubos

$h_i$  = coeficiente de película del medio dentro de los tubos

$k_w/L_w$  = conductancia del calor por la pared de los tubos

$k$  = conductibilidad térmica de la pared del tubo

$L$  = espesor de la pared del tubo

$k_i/L_i$  = conductancia del calor a través de los depósitos en la parte interior de los tubos

$k_o/L_o$  = conductancia del calor a través de los depósitos en la parte exterior de los tubos

Aplicando para el caso de nuestro tipo supuesto:

Velocidad lineal en el tubo: 1.06 pies/seg

$$\text{velocidad del agua: } \frac{25 \times 1.06 \times 4}{24} = 4.42 \text{ pies/seg}$$

de las curvas y tablas respectivas se tiene:

$$1/h_i = 0.0011 \text{ para el agua}$$

$$1/h_o = 0.0037 \text{ para el alcohol}$$

$$L_i/k_i = 0.0015 \text{ para el agua}$$

$$L_o/k_o = 0.0008 \text{ para el alcohol}$$

$$L_w/k_w = 0.00062 \text{ para tubos de } 3/4''$$

luego en la fórmula:

$$1/U = 0.0011 + 0.0037 + 0.0015 + 0.0008 + 0.00062$$

$$1/U = 0.772$$

$$U = 130 \text{ BTU/lb/p}^2/\text{°F}$$

Area necesaria:

$$A = \frac{327,000}{130 \times 86} = 29.5 \text{ pies cuadrados}$$

que comprueba el tipo escogido: de 4 pasos con tubos de  $3/4''$  de diámetro en número de 28 por cada paso y de 6 pies de longitud.

El deflegmador cuenta con una salida especial o escape para los gases no condensables, los que salen a la atmósfera.

#### COLUMNA DE RECTIFICACION.-Balance de materias.-

La alimentación proveniente de la primera columna y constituida por 924 moles, se rectifica en ésta columna hasta tenerse un 86% molar en la parte superior y un 0.6% molar en la parte inferior de alcohol respectivamente. La alimentación entra a la temperatura de e-

bullición y en estado de vapor.

Tomando como base 100 moles de alimentación, hacemos un balance de alcohol:

$$23.6 = 0.86 D + 0.006 R$$

$$D + R = 100$$

efectuando resulta:

$$D = 27.2 \text{ moles y } R = 72.8 \text{ moles}$$

de dónde para las 924 moles de alimentación corresponden:

924 moles	}	251	86% molar alcohol
			14% " agua
		673	0.6% molar alcohol
			99.3% " agua

Reflujo óptimo.-

Como en el caso de la columna anterior, aplicamos el mismo procedimiento para encontrar el reflujo a usarse:

$$R_{\min} = \frac{x \cdot x_d - y'}{y' - x'} = \frac{0.86 - 0.42}{0.42 - 0.236} = 2.35$$

$$\text{reflujo óptimo} = 2 \times 2.35 = 4.7$$

Número de platos.-

Puesto que en el caso presente de nuestra columna, la alimentación entra a la temperatura de ebullición el valor de q es 1, y aplicando al método gráfico obtenemos por resultados que el número de platos teóricos necesario es de 18 . Considerando la eficiencia del 70%, el número de platos actuales será 26.

Diámetro de la columna.-

Gasto de vapor:

$$\frac{251}{24} = 10.4 \text{ mol/hr}$$

Vapores que suben:

$$10.4 \times (4.7 + 1) = 59.2 \text{ mol/hr}$$

que en las condiciones de trabajo de la columna equivalen a:

$$\frac{59.2}{3,600} \times 359 \times \frac{632.4}{492} = 7.62 \text{ p}^3/\text{seg}$$

tomando la velocidad de los vapores en 1 pie/seg

$$D^2 = \frac{7.62 \times 4}{\times 1} = 9.75 \text{ p}^2 \text{ de donde:}$$

$$D = 3.1 \text{ pies} = 0.91 \text{ metros}$$

Consumo de vapor.-

Como la temperatura de la alimentación está en el punto de ebullición, todo el calor consumido se empleará en el proceso de vaporización.

Siendo el total de moles que suben por la columna: 59.2 mol/hr y usando vapor a una presión de 60 libras por pulgada cuadrada, se necesitará:

$$\frac{17,200}{905} \times 59.2 = 1,120 \text{ lbs/hr}$$

Condensador de reflujo.-

En éstos se realiza la condensación de los vapores necesarios para el reflujo de la columna, como así mismo la condensación de las impurezas más volátiles llamadas cabezas, que son separadas y recogidas en un tanque.

Moles que se reflujan:

$$10.4 \times 4.7 = 48.9 \text{ mol/hr las que equivalen a:}$$

$$\frac{13,100 \times 48.9}{251} = 2,560 \text{ litros;}$$

que con una densidad de 0.81 nos dan una equivalencia de 4,600 lb/hr

Esta cantidad será condensada en dos condensadores con capacidad de 2,300 lb/hr cada uno.

El agua usada entra a 80°F y a una razón de 25 g.p.m.; y tiene un aumento de temperatura:

$$dT = \frac{2,300 \times 370}{24 \times 8.34 \times 60} = 68^\circ\text{F}$$

o sea que el agua usada entra a 80°F y sale a 148°F

Aplicando la fórmula:  $Q = U \times A \times (dT)_m$  para el área tenemos:

$$dT_m = 50^\circ\text{F}$$



$$U = 130 \text{ BTU/lb/p}^2/\text{°F}$$

$$A = \frac{2,300 \times 370}{50 \times 130} = 131 \text{ p}^2$$

Usando tubos de 3/4" y de 6 pies de longitud, el número de tubos será:

$$\frac{131}{6 \times 0.1963} = 132 \text{ tubos}$$

Luego se utilizarán dos condensadores de 4 passes con 132 tubos de 3/4" y de 6 pies de longitud.

Condensador de alcohol.-

El alcohol final es extraído de la columna en un punto situado cerca de la parte superior de la columna, con el objeto de que tenga el alcohol la menor cantidad de impurezas agregadas; pasando luego a su propio condensador.

Se deben condensar 10.4 mol/hr de alcohol, o sean 545 lit/hr = 975 lbs/hr

Aplicando el mismo procedimiento que para los casos anteriores, se tiene, que el aumento de temperatura del agua será:

$$dT = \frac{975 \times 370}{25 \times 8.34 \times 60} = 29\text{°F}$$

luego el agua sale a la temperatura de 80 + 29 = 109°F

y aplicando:  $Q = U \times A \times dT_m$

$$U = 130 / \text{BTU/lb/p}^2/\text{°F}$$

$$dT_m = 71\text{°F}$$

$$A = \frac{975 \times 370}{130 \times 71} = 39 \text{ pies cuadrados}$$

y el número de tubos necesario será:

$$\frac{39}{6 \times 0.196} = 33 \text{ tubos}$$

Se utilizará un condensador de 4 pasos con tubos de 3/4" y de 6 pies de longitud y en número de 36 tubos.

Separación del aceite fusel.-

Como se ha dicho anteriormente, uno de los principales constitu-

yentes del aceite fusel es el alcohol amílico y una mezcla de sus isómeros. Estos hierven a una temperatura entre 128°F - 137°F, que es considerablemente elevada con respecto a los puntos de ebullición tanto del alcohol etílico como del agua. Considerando nuestro caso, en que se está separando una mezcla azeotrópica de alcohol y agua por la parte superior, y un líquido formado por agua en el fondo; en la parte superior, el alcohol amílico o aceite fusel está en la zona del etanol, y por ser completamente miscible con el alcohol, su volatilidad es normal, por lo que será condensado y bajará por la columna. Pero en la parte inferior, donde el líquido es casi agua, mostrará anomalía ya explicada anteriormente y caracterizada por su alta volatilidad. Es por esto que el aceite fusel se acumula en la parte central de la columna de donde se le extrae.

Tanque para el alcohol.-

El alcohol que resulta como producto final de la columna es recogido en un tanque, previo a su almacenaje. Este tanque tiene una capacidad del producto de un día de trabajo:

Capacidad del tanque:	10,400 litros
más un 10%	1,040 "
Capacidad total:	<u>11,440 litros</u>

Dimensiones:                   Diámetro: 2.70 metros  
  Altura : 2.00 metros

Tanques para impurezas.-

Siendo la producción diaria de aldehidos cantidad que varía entre los 150-200 litros, y la de aceite fusel unos 40 litros; la capacidad de los tanques para éstas impurezas serán de 800 litros y 200 litros respectivamente.-

Bomba de alcohol.-

El alcohol recibido en el primer tanque es enviado a un tanque de



ENERGIA

En el cuadro adjunto se ha colocado la cantidad de energía necesaria en 24 horas de trabajo:

<u>Equipos</u>	<u>Potencia del motor en H.P.</u>	<u>Horas que trabaja el motor</u>	<u>Kilowatts-hora por día</u>
Tanque mezclador	3	24	53.7
Tanque de reacción	3	24	53.7
Centrífugas ( dos)	20	16	239.0
Bomba para la melaza	2	24	35.8
Bomba para descargar melaza	2	8	12.0
Bomba para enviar melaza al enfriador	1/3	24	8.0
Bomba del enfriador	1/3	24	8.0
Separadores (dos)	3	24	53.7
Secador	3	24	53.7
Bomba de mosto del fermentador	1	24	17.9
Bomba para la columna	1	24	17.9
Bomba de alcohol	1/3	8	2.0
			555.4
Alumbramiento de la planta	50	Total 12	44.6
			600.0

El total de H.P. necesarios es de 44, los que equivalen a 33 Kws. Luego, la energía eléctrica será suministrada por un grupo generador de 40 Kws, Caterpillar Diesel; el que estará complementado por un motor a gasolina, que suplirá al diesel para hacer las reparaciones y limpieza necesarias, y con sus mismas características.

VAPOR

Consumo de vapor.-

Las cantidades de vapor necesarias para los diferentes usos son las siguientes:

Para calentar agua	585	lbs/hr
Enfriador Instantáneo	733	lbs/hr
Secador	415	lbs/hr
Columna de destilación	1,100	lbs/hr
Columna de rectificación	1,120	lbs/hr
Varios	100	lbs/hr
	<hr/>	
Total	4,053	lbs/hr

Lo que nos dá un total de 4,053 lbs/hr de vapor a una presión de 60 libras por pulgada cuadrada. Esta cantidad es suministrada por un caldero de 150 H.P.

ESTUDIO ECONOMICO DEL PROYECTO

El fin del presente capítulo es el de calcular cuanto capital es necesario invertir para el proyecto en estudio como así mismo el monto de ganancias que se van a obtener. Todos los cálculos se hacen a base de un año, pasándose a tratar todos los factores que intervienen en la resolución de los puntos indicados.

Costo de materia prima.-

1.- 12,000 Toneladas de melaza cruda, al precio de S/. 0.20 el kilo	S/. 2'400,000
2.- 32,100 Kilos de ácido sulfúrico de 60° Be. al precio de S/. 2.40 kilo	77,040
3.- Agua fresca, para usos generales en la fábrica: 1'000,000 litros diarios al precio de S/. 0.05 los 1000 lts. Por año el costo será	15,000
4.- 8,580 galones de Diesel oil, y, 309,000 gal. de fuel oil al precio de S/.0.60 y S/. 0.40 respectivamente	126,148
Costo de materia prima al año	2'618,188
Recargo de 5% por gastos de lubricación, etc.	130,900
Costo total de materia prima al año	2'749,088

Terreno y edificio.-

El edificio para el presente proyecto tiene una estructura de perfiles de acero, y sus cimientos y bases de la maquinaria de losas de concreto, como así mismo los pisos de concreto.

El techo será de estructura de acero con planchas de eternit. Las

paredes son llenadas con ladrillos, con las debidas disposiciones para la iluminación y ventilación por medio de ventanas.

Consta de las siguientes secciones:

- a.- De tres pisos, para la preparación y tratamiento de la melaza.
- b.- De dos pisos, para la sala de fermentación
- c.- De un piso, con una altura de tres pisos, para la instalación de las columnas de destilación, cuenta con pequeños voladizos, que tienen por objeto facilitar la observación de las columnas, y como soporte a los accesorios.
- d.- De un piso, que se utilizará como almacén o depósito, junto con el laboratorio y talleres.
- e.- De un piso, que se utilizará para las oficinas.
- f.- Edificio separado para la casa de fuerza y el caldero de un piso

Costos.-

1.- 34 x 32 metros = 1,088 m <sup>2</sup> de terreno		
al precio de S/. 2.00 el m <sup>2</sup>	S/.	2,176
2.- 1,026 m <sup>2</sup> de construcción total,		
al precio promedio de S/. 420 m <sup>2</sup>		430,920
		<hr/>
	S/.	433,096
Costo total del terreno y edificios, redondeando	S/.	433,120

Costo del equipo.-

1.- Dos tanques de acero, para almacenar melaza	S/.	80,000
5% de instalación		4,000
		<hr/>
		84,000
2.- Dos tanques para la medición de la melaza de 1,000 lts. de cap. c/u		6,000
5% instalación		300
		<hr/>
		6,300

3.- Tanque mezclador de acero, de 3,000 litros de capacidad, con motor eléctrico, engranajes y re- ducción	S/. 30,000	
5% instalación	1,500	<u>31,500</u>
4.- Tanque para almacenar ácido sul- fúrico, 296 kg. de fierro	1,480	
5% instalación	740	<u>2,220</u>
5.- Tanque de reacción con una capa- cidad de 2,900 lit. 1,115 kg. acero	5,575	
5% de instalación	278	<u>5,853</u>
6.- dos centrífugas de 40"x 24" con motor eléctrico	150,000	
25% flete, 5% instalación	45,000	<u>195,000</u>
7.- Tanque de recepción previo a las centrífugas, 1,560 kg. de acero	7,800	
5% instalación	390	<u>8,190</u>
8.- Tanque de recepción, con un peso de 4,000 kg. de acero,	20,000	
5% instalación	1,000	<u>21,000</u>
9.- Enfriador instantáneo, con con- densador barométrico de 20 Ton.	107,250	
30% flete e instalación	32,175	<u>139,425</u>
10.- Tanque de almacenaje, con un peso de 897 kg. de acero	4,485	
5% instalación	225	<u>4,710</u>



11.- Tanque para agua caliente, con su respectivo serpentín de acero	S/. 3,500	
5% instalación	175	<u>3,675</u>
12.- Tanque para agua fría, con un peso de 1,000 kg. de acero,	5,000	
5% instalación	250	<u>5,250</u>
13.- Equipo de fermentación:		
a.-1 incubador de fermentos de 100 lts de Cu.		
b.-2 proliđeradores de 1,000 lts. c/u de Cu.		
c.-4 pre-fermentadores de 5,000 lts. de acero		
d.-9 fermentadores de 70 m <sup>3</sup> de acero		
e.- termómetro, tuberías, registros		
25% flete y 5% instalación		520,000
14.- Tanque para mosto, con un peso de 1,500 kg. de acero,	7,500	
5% instalación	375	<u>7,875</u>
15.- Dos separadores centrífugos De Laval		
30% instalación y flete		37,500
16.- Tanque para el segundo separador con 1,115 kg. de acero,	5,575	
5% instalación	279	<u>5,854</u>
17.- Un secador rotativo de doble cilindro atmosférico	129,000	
30% flete e instalación	38,700	<u>167,700</u>
18.- Tanque para el mosto final con 1,551 kg. de acero,	7,755	
5% instalación	387	<u>8,142</u>

19.- Equipo de destilación:

- a.- Columna de destilación de cobre
- b.- Columna de rectificación de cobre
- c.- 1 precalentador
- d.- 3 condensadores
- e.- equipos de control y tubería

S/. 160,000

5% instalación

8,000

168,000

---

20.- Tanque de recepción de alcohol

con 1,784 Kg. de acero,

8,920

5% instalación

446

9,366

---

21.- Tanque para agua, con un peso de

3,260 Kg. de acero,

16,300

5% instalación

815

17,115

---

22.- Tanque para almacenaje de alcohol

con 5,500 kg c/u de acero,

90,000

5% instalación

4,500

94,500

---

23.- 2 balanzas de 200 Kg.

3,000

24.- Tanques para las impurezas

4,500

25.- Bombas:

3 bombas de 11 g.p.m.

2 bombas de 23 g.p.m.

2 bombas de 67 g.p.m.

1 bomba de 66 g.p.m.

1 bomba para alcohol

30,150

5% instalación

1,507

31,658

---

25% flete

7,537

26.- Caldero para la producción de 4,500 lbs de vapor a 60 lbs/pulg<sup>2</sup> con equipo auxiliar, quemador, bomba de alimentación, etc. S/. 150,000

27.- Un grupo generador Caterpillar Diesel, electro set, con generador para 40 Kws. 220 volts, 60 ciclos, trifásico, con sus respectivos accesorios; válvula de reducción tanques para fuel oil y diesel oil, tubería, etc. más un 10% de instalación y transporte 98,000

28.- Un motor a gasolina para adaptarlo al generador anterior 65,000

---

Total: 1'902,870

29.- Recargo de 3% sobre el costo del equipo por concepto de instalación del laboratorio, taller mecánico, carpintería, muebles de oficina, máquinas de oficina, instalación de corriente eléctrica, etc. 57,086

---

Costo total del equipo instalado 1'959,956

Costo de labor y supervisión.-

Personal de empleados.-

Un ingeniero químico jefe	S/. 3,000.00	al mes
Un técnico mecánico	1,200.00	"
Un químico de laboratorio	1,200.00	

Tres jefes de turno con		
1,200 soles c/u	S/. 3,600.00	al mes
Un contador	500.00	"
Un encargado del control del tiempo	300.00	"
	<hr/>	
Sueldos al mes	S/. 9,800.00	
Sueldos al año	S/. 117,600.00	

Personal obrero

A pesar de considerar 300 los días de trabajo de la planta al año, se ha tomado el gasto de jornales de 360 días, por incluir posibles indemnizaciones y sobretiempos, para reparaciones en los días de parada.

Obreros por guardia.- ( 3 guardias de 8 horas )

	<u>Jornal</u>	<u>Por día</u>
Un portero	S/. 7.00	S/. 21.00
Un encargado de las balanzas	7.00	21.00
Un jefe de tratamiento de melaza	14.00	72.00
Un centrifugero	14.00	72.00
Un jefe de fermentación	14.00	72.00
Tres ayudantes de fermentación	7.00	63.00
Un jefe de destilación	14.00	72.00
Dos ayudantes de destilación	7.00	42.00
Un mecánico de guardia	14.00	72.00
Dos ayudantes de mecánico	7.00	42.00
Un calderero	14.00	72.00
Tres obreros de laboratorio	7.00	63.00
Un jefe de la planta de fuerza	14.00	72.00
Un ayudante de la planta de fuerza	7.00	21.00
Dos obreros ayudantes de oficina, encargados de limpieza, etc con jor- nal diario	5,00	10.00

Jornales por día	S/. 787.00
Jornales por año	S/. 283,320.00
Costo total de labor y supervisión:	
Suedlos al año:	S/. 117,600.00
Jornales al año:	283,320.00
	<hr/>
	S/. 400,920.00
Recargo del 20% por leyes sociales	80,184.00
	<hr/>
Total:	S/. 481,104.00

CARGOS FIJOS.-

1.-Impuestos: $2\frac{1}{2}\%$ sobre el capital invertido ( Terreno y edificio mas equipo )	S/. 59,826.00
2.-Seguros: $\frac{1}{2}\%$ sobre el capital invertido	11,965.00
3.-Depreciación:	
5% para el edificio	S/. 21,656
10% para la maquinaria	<u>S/. 195,996</u>
	217,652.00
4.-Pro-desocupados, seguro social, $2\frac{1}{2}\%$ de la mano de obra	8,027.00
	<hr/>
	S/. 297.470.00

CAPITAL DE TRABAJO.-

Costo de materia prima	S/. 2749,088.00
Costo de labor y supervisión	481,104.00
Cargos fijos	297.470.00
Imprevistos	240,552.00
	<hr/>
Total	S/. 3768,214.00

CAPITAL INVERTIDO

Costo de terreno y edificio	S/. 433,120.00
Costo del equipo	1,959,956.00

Capital de trabajo correspondientes

los 3 primeros meses de trabajo

S/. 942,054.00

---

S/. 3'335,130.00

ENTRADA ANUAL BRUTA.-

3'120,000 litros anuales de alcohol, que

se venden en la siguiente forma:

30% o sea: 936,000 litros para la Caja

de Depósitos, al precio de S/. 0.45 el lt.

S/. 431,200.00

2'184,000 litros para el consumo al precio

de S/. 2.00 litro

4'368,000.00

192,000 Kg. de levadura a S/. 2.00 kilo

384,000.00

Total

---

S/. 5'183,200.00

GASTOS GENERALES AL AÑO.-

Costo de materia prima

S/. 2'749,088.00

Costo de labor y supervisión

481,104.00

Costo de cargos fijos

297,470.00

Mantenimiento: 2% ( Terreno y edificio y equipo)

47,862.00

Administración y distribución:

15% de la entrada bruta

777,480.00

Intereses por el capital de trabajo de

los tres primeros meses al 6%, que siempre

estará en circulación

56,523.00

Total

---

S/. 4'409,527.00

GANANCIA NETA AL AÑO.-

Entrada anual bruta

S/. 5'183,000.00

Gastos anuales

4'409,527.00

Ganancia neta

---

S/. 773,473.00

Esta ganancia representa el 23% sobre el capital invertido.

### CONCLUSIONES

Resumiendo lo expuesto en las páginas anteriores, llegamos a la conclusión que, el establecimiento de una planta de éste tipo, trae las siguientes ventajas:

- 1.- Contribuye a la utilización mas completa de los sub-productos de la industria azucarera.
- 2.- Se realiza la producción de alcohol de mejor calidad
- 3.- La recuperación de la levadura, contribuye a solucionar el problema de la adecuada alimentación del ganado, proporcionando vitaminas y proteínas.
- 4.- Crea la posibilidad de mejorar la calidad de éste producto y hacerlo capáz de ser consumido directamente por el género humano.
- 5.- Aumenta los beneficios en las destilerías que adopten el procedimiento.

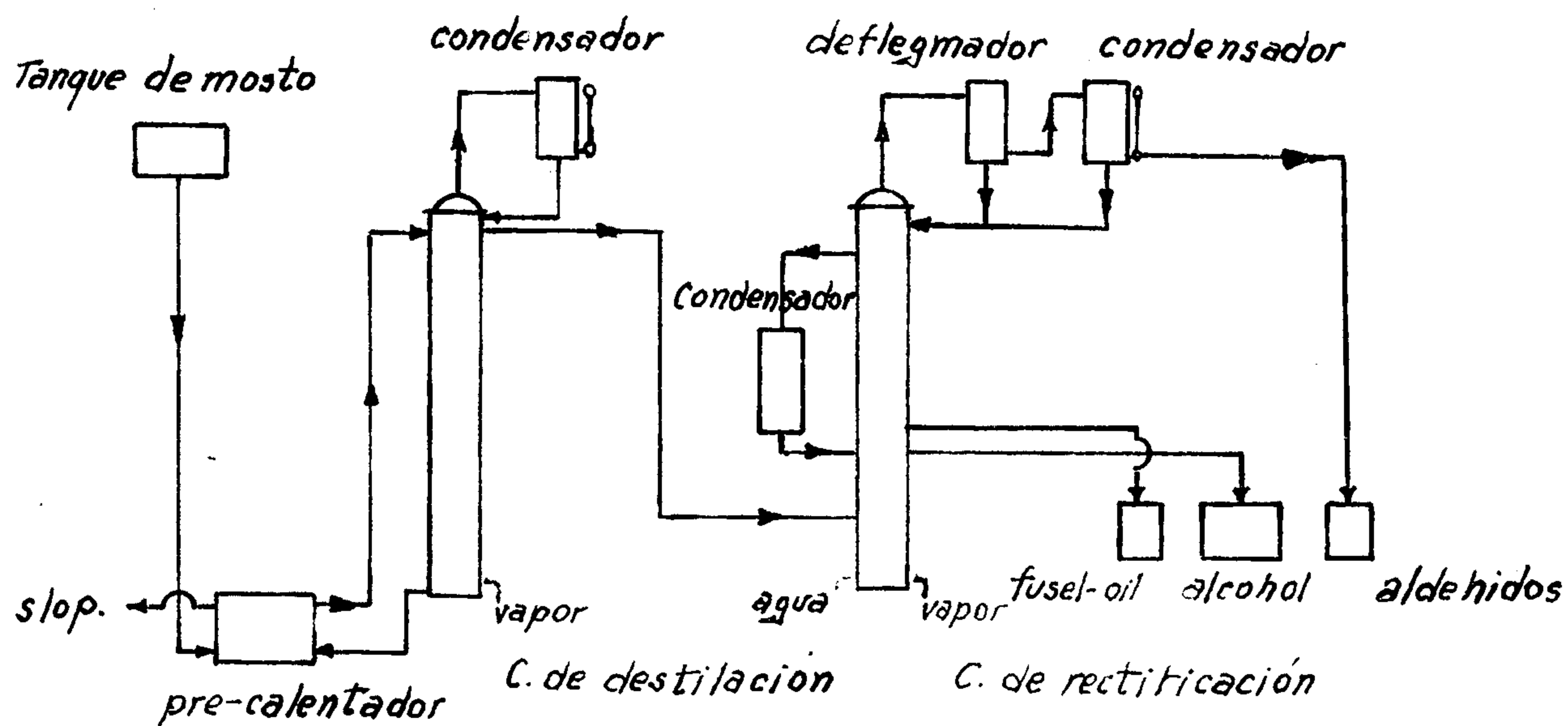
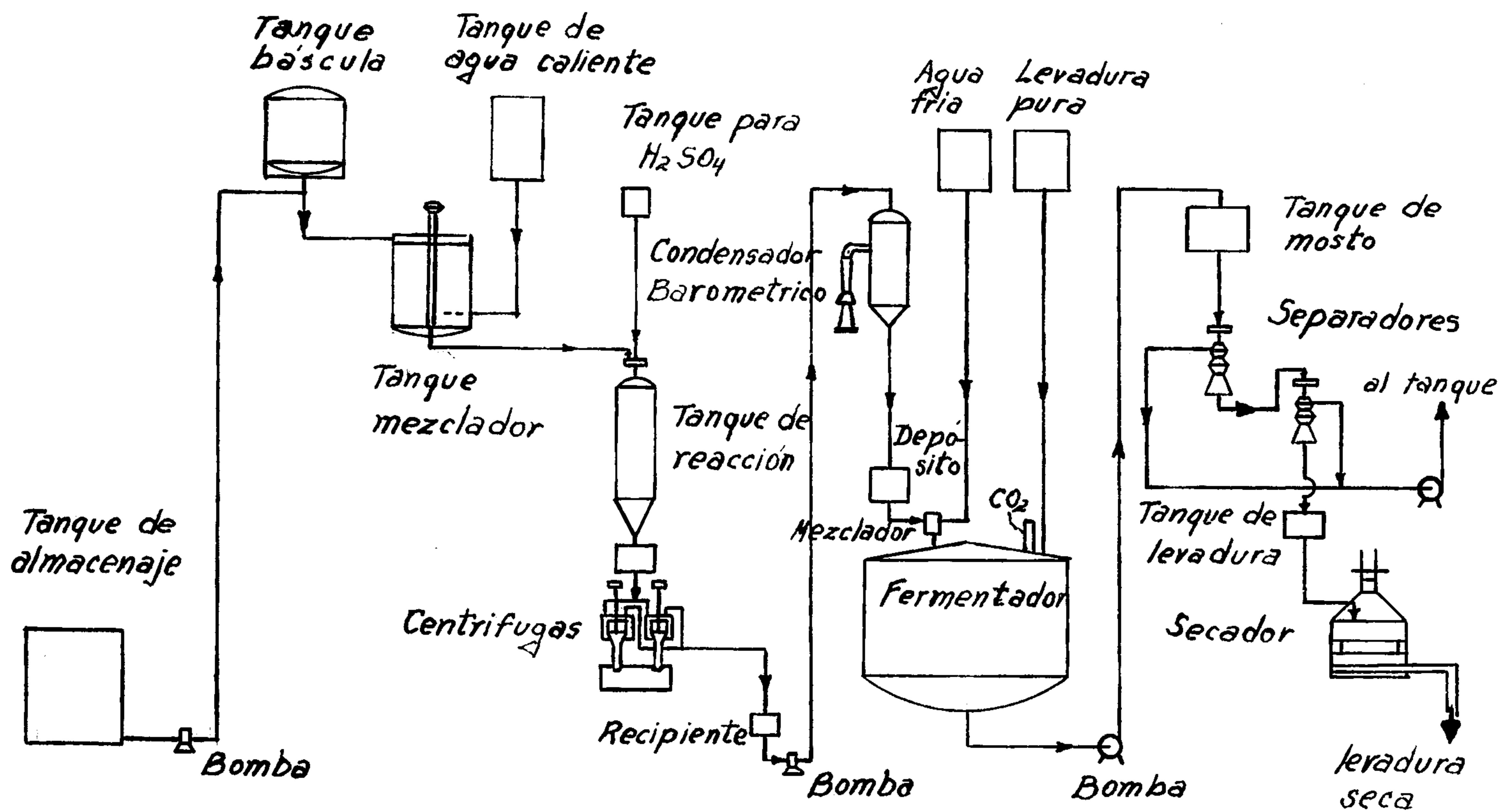
Estas ventajas son suficientemente explícitas para mostrar la importancia del aprovechamiento de la levadura de un residuo sin valor en la actualidad, pero que, al llevarse a cabo, ha de repercutir forzosamente tarde o temprano en la mejora cualitativa de los alimentos que consume la población del país; como así mismo de las en la producción de alcohol, que justifican ésta planta.

Lima, Marzo de 1951

## BIBLIOGRAFIA

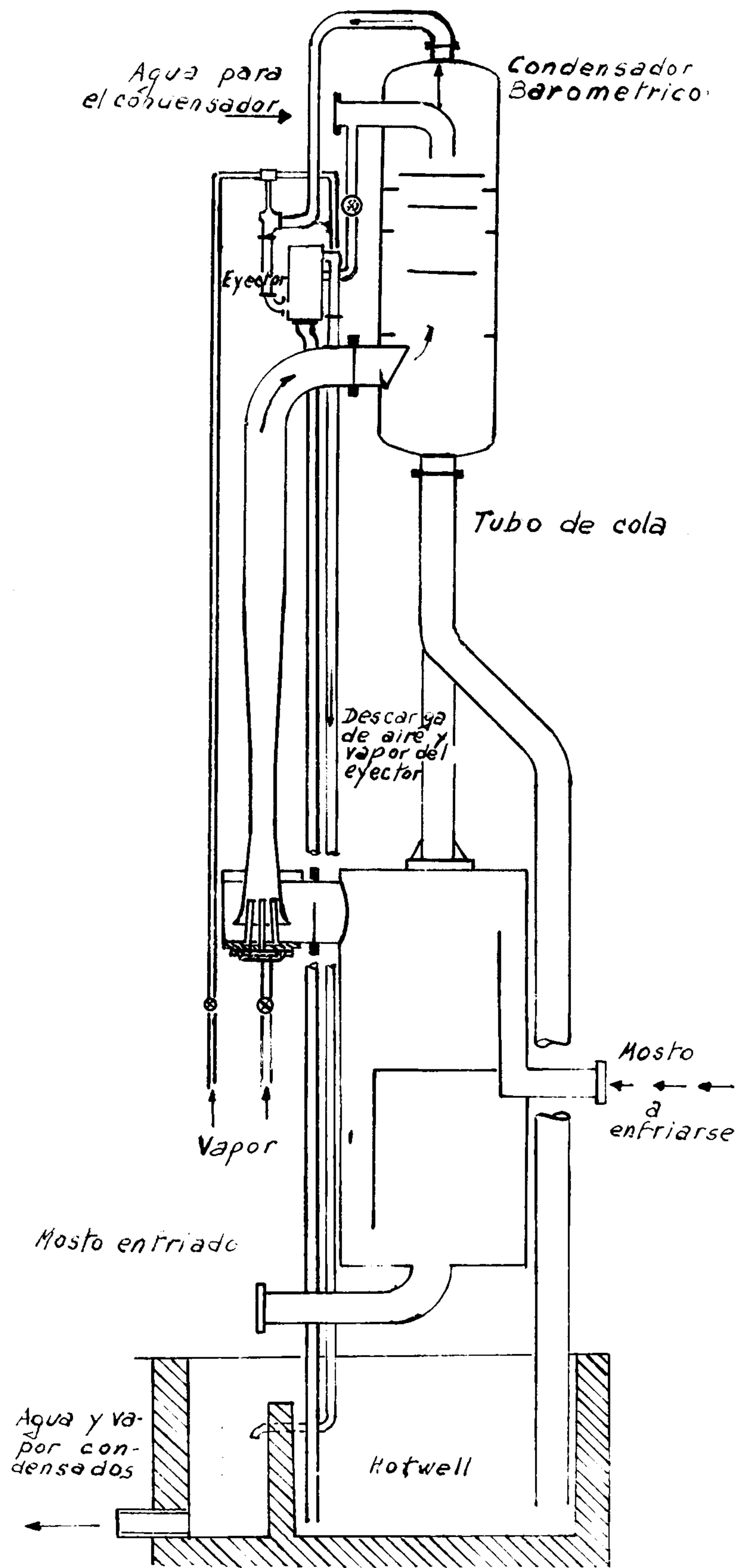
- Chemical Engineers' Handbook de John H. Perry
- Handbook of Chemistry and Physics de Charles Hodgman
- Mechanical Engineers' Handbook de Kent
- The Chemical Process Industries de Norris Shreve
- Chemical Machinery de Riegel
- Chemical Engineering Plant Design de Vilbrandt
- Elements of Chemical Engineering de Badger and McCabe
- Principles of Chemical Engineering de Walker, Lewis, McAdams y Gillilan
- Elements of Fractional Distillation de Robinson y Gilliland
- La rectificación de alcohol de Sorel
- Steam Power Plant Engineering de Gebhardt
- Yeast from Molasses de G.T. Reich
- Handbook for Cane Sugar Chemists de G.L. Spencer
- Cane Sugar, de Noel Deer
- Blackstrap for Biochemical Industries de W.M. Owen
- Industrial Microbiology
- Facts about sugar
- El mundo azucarero
- Chemical and Metallurgical Engineering
- Industrial and Engineering Chemistry
- Food Industries
- Sociedad Nacional Agraria, Boletín





<b>DESTILERIA DE ALCOHOL</b>	
Flow-sheet general del proceso	
Marzo 1951	Escala: 1/100

# Enfriador Instantáneo



Tanque de almacenaje de melaza

