

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"INSTALACION Y ACONDICIONAMIENTO DE UN ALAMBIQUE, PARA EL LABORATO-
RIO DE INGENIERIA QUIMICA, CON FINES DIDACTICOS"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO, PRESENTA:

JESUS TORRES MERINO.

90-130
J. Torres Merino

352

MEXICO, D. F.

1 9 7 5



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CLAS. Tesu
ADQ. 1975
FECHA
PROC. M4-322 33A



QUIMICA

FACULTAD DE QUIMICA
U.N.A.M.

PRESIDENTE:	PROF. HECTOR MANUEL LOPEZ HERRERA.
VOCAL:	PROF. CUTBERTO RAMIREZ CASTILLO.
SECRETARIO:	PROF. GRACIELA MARTINEZ ORTIZ.
1er. SUPLENTE:	PROF. ROBERTO ANDRADE CRUZ.
2do. SUPLENTE:	PROF. LUCIA ARCINIEGA CARRILLO.

TEMA DESARROLLADO EN EL LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA

SUSTENTANTE: JESUS TORRES MERINO.

ASESOR DEL TEMA: I. Q. HECTOR MANUEL LOPEZ HERRERA.

C O N T E N I D O

INTRODUCCION.

CAPITULO I.- GENERALIDADES.- METODOS DE OBTENCION Y ALGUNAS TEC-
NOLOGIAS INDUSTRIALES, PARA LA FABRICACION DE ALCO-
HOL ETILICO.

CAPITULO II.- EXPERIMENTACION.

1°.- FASE LABORATORIO.

2°.- FASE PLANTA PILOTO.

CAPITULO III.- EQUIPO PILOTO PARA LA PRODUCCION DE ALCOHOL.

CAPITULO IV.- PROPOSICION DE PRACTICAS.

CAPITULO V.- CONCLUSIONES.

APENDICE.

BIBLIOGRAFIA.

C A P I T U L O I

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

Una de las areas más importantes de la Ingeniería Química es el --
AREA DE PROCESO, de la cual generalmente se tiene poca información
o no se ha presentado nunca en el aspecto práctico durante la for-
mación profesional. De aquí la necesidad de enfrentar al alumno a
problemas industriales reales en los que intervengan las diferen -
tes Operaciones Unitarias no de manera aislada, sino formando par-
te de un proceso.

El objetivo de este trabajo es la elaboración de una práctica en -
la cual se integren diferentes Operaciones Unitarias en un proce-
so, que transforme una determinada materia prima en un producto fi
nal deseado, con lo cual el alumno conocerá en pequeña escala el -
proceso industrial.

La instalación de la planta piloto tiene por objeto representar -
hasta donde sea posible el equipo industrial y las variables que -
intervienen normalmente, así como su control.

Aunque se pueden proponer una gran cantidad de procesos, se selec-
cionó el de la fabricación de alcohol etílico por fermentación; de
bido a la importancia de relacionar la Ingeniería Química con -
otras areas, como es la microbiología; esto nos marca un camino a
seguir en la selección de procesos con fines didácticos.

Se dedica especialmente este trabajo a los alumnos que cursan las
materias de Ingeniería Química y Cursos Industriales de Azúcar en
la Facultad de Química.

GENERALIDADES.

METODOS DE OBTENCION DE ALCOHOL ETILICO.

Para la fabricación de alcohol etílico se puede seguir uno de los dos siguientes caminos:

A).- Por síntesis de sus componentes o de otros productos químicos.

B).- Por fermentación y posterior destilación. ✓

A).- METODOS DE SINTESIS.

La obtención de alcohol por síntesis se conoce desde principios del siglo pasado. En 1825-1828 Hennel, colaborador de Faraday, observó que, tratando el gas de alumbrado con ácido sulfúrico, obtenía sulfato de etilo, el cual por hidrólisis regenera el ácido y produce alcohol.

Este proceso tropezaba con la enorme dificultad de que para obtener 100 litros de alcohol había que manejar 500 kilogramos de ácido, - con todos los problemas inherentes al trabajo con grandes cantidades de ácidos.

En la actualidad se han resuelto estas dificultades y es considerable la competencia que hace el alcohol obtenido por métodos sintéticos al proveniente de los procedimientos de fermentación.

Se pueden citar, como punto de partida para la síntesis de alcohol, las siguientes materias primas, entre las principales: Acetileno, - etileno, gases de petróleo, hulla, etc. (1,2,3.)

I.- Partiendo de carburo de calcio.

En los casos en que se dispone energía barata, el carburo de calcio puede constituir una fuente para la producción de alcohol.

En este proceso se obtiene acetileno tratando el carburo de calcio

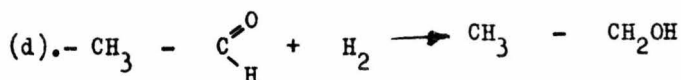
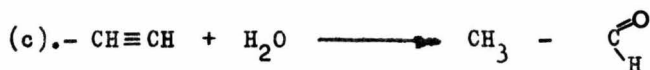
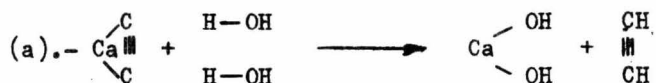
(CaC₂) con agua (a). Debido a los componentes ordinarios de la cal, el carburo queda mezclado con sulfuro y fósforo, los cuales, al reaccionar con el agua, dan hidruros de azufre y de fósforo, por lo que es preciso purificar el acetileno obtenido para evitar que en los posteriores tratamientos catalíticos de este gas disminuyan los rendimientos de los catalizadores, a causa de los envenenamientos originados por las impurezas que puede llevar.

El acetileno se puede transformar catalíticamente en etileno (b) del cual puede ser obtenido el alcohol por el mismo procedimiento que si se partiera de los gases procedentes del cracking del petróleo o de los residuales de la síntesis de bencinas de Fischer Tropsch. (4)

El acetileno reacciona con el agua en solución ácida y en presencia de sulfato de mercurio, dando lugar a la formación del aldehído acético (c).

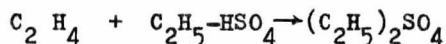
Reduciendo este aldehído acético (d) mediante una corriente de hidrógeno a 160-170°C y empleando como catalizador el níquel, se obtiene el alcohol.

Las reacciones que se producen en los procesos que se acaban de citar son las siguientes:

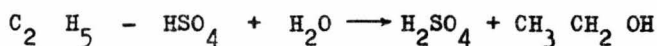


II.- CON ETILENO Y ACIDO SULFURICO.

Se puede llegar al alcohol indirectamente tratando el ~~metileno~~ etileno con ácido sulfúrico, con lo que se forma primeramente el sulfato ácido de etilo y a continuación el sulfato neutro:



estos sulfatos, mediante el tratamiento con agua, se hidrolizan para dar alcohol etílico y regenerar el ácido sulfúrico.



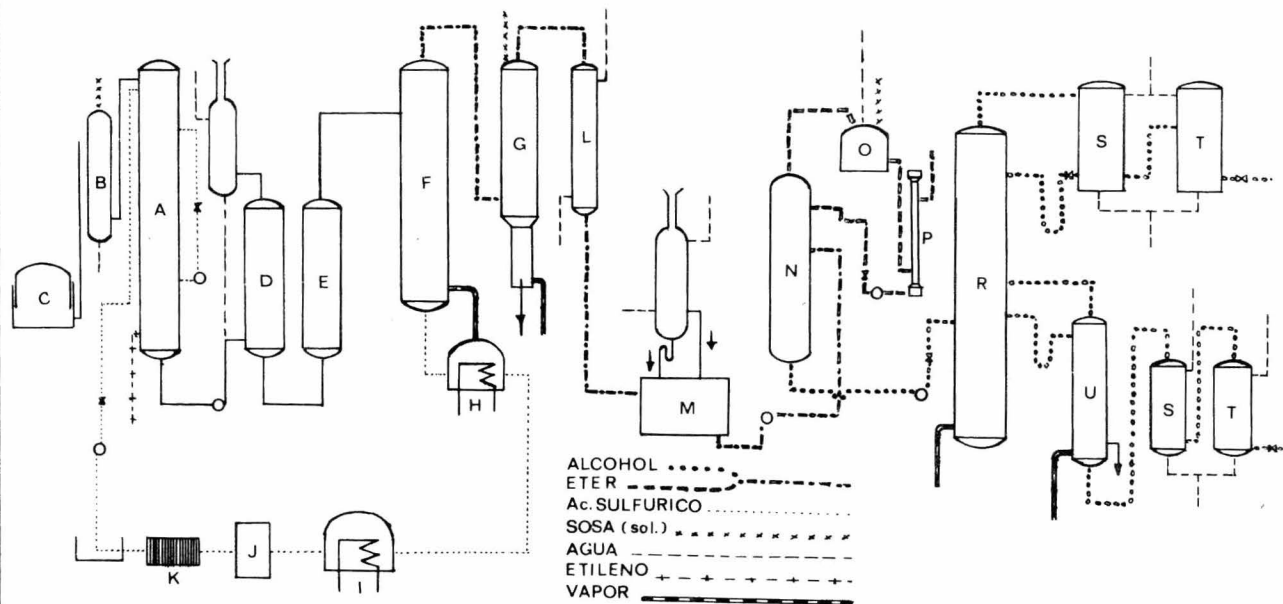
Tal proceso no se encuentra limitado, ya que el equilibrio puede alterarse por dilución de la solución ácida concentrada.

Termodinámicamente son posibles cualesquiera rendimientos, puesto que la variación de la energía libre por dilución del ácido resulta sumada a la de hidratación propiamente dicha.

No obstante, tiene este procedimiento la desventaja de que es necesario reconcentrar cantidades de ácido sulfúrico de bastante consideración, a no ser que se encuentre una aplicación a este ácido diluido. Su mayor dificultad estriba en el equipo, el cual debe ser resistente a la corrosión.

Como catalizador para absorber el etileno en el ácido se emplea sulfato de plata, se han ensayado algunos otros como sales de cobre, y algunos metales de los grupos del hierro y platino.

Los gases con un contenido de etileno de 30 a 35%, entran por la parte inferior de la torre de absorción A (Fig. 1) y a contracorriente



A - Torre de Absorción
 B - Lavador de gases residuales
 C - Gasógeno
 D - Mezclador
 E - Hidrolizador
 F - Columna/separación
 G - Absorbedor
 H - Reheñador
 I - Concentrador
 J - Decantador

K - Filtro
 L - Condensador
 M - Depósito - Alcohol y Eter
 N - Columna-Separación (Alcohol y Eter)
 O - Lavador de éter
 P - Columna-Purificador de éter
 Q - " - Rectificador de Alcohol
 R - " - Depurador " "
 S - Condensadores
 T - Condensadores

Fig. 1

TESIS PROFESIONAL
 Jesús Torres Merino
 OBT. DE ETANOL (por
 síntesis del ETILENO).
 LAB. ING. QUIMICA
 F.Q. U N A M

se alimente el ácido; este ácido es de una concentración de un 90%, y en algunas instalaciones aún mayor. La presión en el absorbedor es de aproximadamente 15 a 35 Kg/cm², dependiendo de la riqueza en etileno de los gases entrantes.

La reacción se efectúa a una temperatura de unos 80°C, y como es exotérmica, es necesario refrigerar convenientemente la torre de absorción.

Los gases que salen por la parte superior y que por su contenido en etileno no son aprovechables se lavan con solución de sosa cáustica en el lavador B y se recogen en el gasógeno C, pudiendo utilizarse como combustibles.

Por la parte baja de la columna se hace una extracción de ácido, el cual después de enfriado convenientemente, se introduce por una zona intermedia con lo que ayuda a mantener la temperatura deseada, a la vez que se regula la concentración del alcohol.

La masa líquida que fluye por la parte inferior de la torre de absorción está compuesta de ácido sulfúrico y los sulfatos neutro y ácido de etilo; después de enfriada, y mediante la adición de agua en el recipiente mezclador D, se hace perfectamente homogénea, pasando la mezcla formada al hidrolizador E, donde se efectúa la descomposición en alcohol y ácido sulfúrico, agua, éter sulfúrico y materias carbonosas, substancias orgánicas y otros subproductos formados en la reacción.

Esta mezcla que sale del hidrolizador pasa a la columna separadora F, en la que el éter y el alcohol se eliminan pasando al tanque limpiador G. Por la parte inferior de la columna se elimina el ácido sulfú

rico el cual tiene una concentración del 50 %; este ácido pasa primero a un rehervidor H, en donde se somete a una previa concentración, por lo que se eleva su riqueza a un 70 % aprox.; los vapores que en esta operación se producen se emplean para calentar la base de la columna.

Siguiendo el ciclo del ácido se observa que de el rehervidor pasa a un concentrador, I, donde se calienta nuevamente y se acelera así la formación del carbón al destruirse la materia orgánica que puede contener, trabajando a una presión de 130 mm de mercurio, se alcanza un contenido en ácido de 89 %; enseguida se consigue la concentración final deseada evaporando al vacío (20 mm. de mercurio) y de esta forma la temperatura del ácido no sobrepasa los 200°C. Finalmente en el decantador J se decantan las materias aceitosas que pueda contener, y el filtro K elimina el residuo carbonoso y queda el ácido listo para ser usado nuevamente.

Una vez lavados los vapores de alcohol y éter, en la torre de absorción G con solución de sosa cáustica y eliminadas las impurezas que pudieran arrastrar, pasan al condensador L, antes de llegar al depósito M, desde donde por medio de una bomba, son conducidos a las columnas de purificación y concentración; en la primera N, se separan el éter y el alcohol. Los vapores de éter se lavan con agua o solución de sosa, según los casos, en el lavador O, y en la columna de éter P, se consigue por último, un éter completamente exento de alcohol. La producción de éter se puede evaluar en un 5 % del alcohol obtenido.

La solución alcohólica diluída pasa a la columna de rectificación E,

en la que se separan los productos de cabeza, y, una vez condensando y refrigerados en S y T, pasan al almacén. El alcohol de 90° se depura en la columna U, y en el condensador S y el refrigerante T se prepara antes de pasar a los depósitos de alcohol. La mayor parte de los alcoholes de síntesis se emplean para usos comerciales, de los que los principales son la fabricación de caucho sintético y la de explosivos, si se desea un alcohol de elevada concentración por ejemplo como bebida, entonces es preciso introducir algunas modificaciones en la instalación a fin de conseguir las características deseadas.

Sus principales ventajas estriban en que, partiendo de 100 Kg. de etileno, se puede obtener 190 litros de alcohol; este es un buen rendimiento y ello va unido a que el proceso se presta para trabajar con gases cuyo contenido en etileno sea sólo del 30 %.

Entre los inconvenientes podemos señalar la necesidad de concentrar grandes cantidades de ácido sulfúrico y la precisión de emplear equipos e instalaciones adecuadas, los cuales están constituidos por recipientes de aceros especiales resistentes al ácido, o bien de aceros recubiertos con plomo y materiales cerámicos también resistentes a los ácidos.

III.- HIDRATACION DIRECTA DEL ETILENO.

Se puede llegar también, partiendo del etileno directamente al alcohol. Se sigue el procedimiento llamado de hidratación directa, la cual se desarrolla de acuerdo con la reacción siguiente:



que, por ser exotérmica, se favorecerá operando a temperaturas bajas

de esta reacción molecular vemos que el volumen de la molécula gramo de etileno, 22.4 litros, más el volumen de la molécula gramo de alcohol, es decir, otros 22.4 litros, en lugar de ser la suma, 44.8 litros; por lo que un aumento de presión durante la reacción nos desplazará el equilibrio hacia la formación del alcohol. Ahora bien, operando a bajas temperaturas no podemos forzar mucho la presión, pues el vapor de agua se condensa y entonces bajaría el rendimiento del proceso.

A temperaturas bajas y presiones medias, la velocidad de la reacción es muy lenta, y por ello hay que recurrir al empleo de catalizadores. En Inglaterra se han estudiado como catalizadores fosfatos complejos de diversos metales, entre otros el hierro, níquel, calcio, estroncio, bario y magnesio. Otras investigaciones han dado como resultado que el catalizador más activo es el óxido de aluminio.

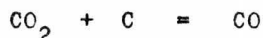
Trabajando a 290-300°C y con presiones de 105-110 Kg/cm² (con lo que el equilibrio de conversión es de un 8 %), se han obtenido conversiones de un 2-4%, con un tiempo de contacto de sesenta segundos. Ya que la conversión al pasar los gases sobre el catalizador es pequeña es preciso recurrir a pasadas sucesivas, y para evitar la excesiva dilución de los gases se debe partir de una fuente de etileno que se halle relativamente concentrada.

Este proceso presenta, sobre los anteriores de absorción con sulfúrico, la ventaja, de que la instalación es más simple y, principalmente, que no hay que emplear material especial resistente al ataque del ácido. En contra tiene que la conversión por pasada es muy baja a pesar de ello, el costo del alcohol es del mismo orden que en el -

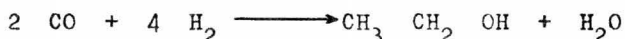
procedimiento de absorción por ácido concentrado.

D.- PARTIENDO DE ANHIDRIDO CARBONICO.

El anhídrido carbónico que existe en gran cantidad disponible, puede reducirse a óxido de carbono fácilmente; por ejemplo: pasándolo a -- través de carbón encendido, la reacción que se efectúa es la siguiente:



En la síntesis de Fischer se produce la reacción:



El proceso presenta grandes dificultades a causa de la sensibilidad de los catalizadores a las impurezas y por el elevado precio del hidrógeno, que hacen muy caro el método.

B). MÉTODOS DE FERMENTACION

Materias Primas.

Cualquier producto que contenga azúcares o hidratos de carbono fácilmente transformables en azúcar fermentable, almidón o celulosa, por ejemplo, pueden servir de material de partida, desde el punto de vista estrictamente teórico. Para que en la práctica se utilicen es imprescindible considerar su rendimiento y su costo. (5).

Las materias primas se pueden agrupar en tres clases:

I.- Materias Azucaradas.- Mostos o jugos de frutas, remolacha y caña de azúcar, los productos de las industrias de extracción de azúcar - (melazas), sorgo azucarado, algarroba, etc.

II.- Materias amiláceas.- En este grupo se pueden incluir todos los cereales que contienen almidón (maíz, cebada, malta, trigo, avena, centeno, arroz, etc.), tubérculos y raíces que contienen almidón, inu

lína, etc., tales como patatas, boniatos, raíz de girasol, yuca, etc. (6,7).

III.- Materias celulósicas.- Madera y sus residuos, paja residuos --- agrícolas, líquidos sulfíticos residuales de la fabricación de la pasta del papel que contienen azúcares derivados de la celulosa y de las hemicelulosas por hidrólisis (8).

Si partimos de alguna de las materias primas que se incluyen en cualquiera de las dos primeras clases, se sigue el procedimiento tradicional de fermentación. Si la materia de partida es uno de los azúcares más sencillos, en este caso puede fermentarse directamente por el uso de alguna de las levaduras existentes; si por el contrario es un hidrato de carbono más complejo (almidón, inulina, etc.), primeramente tiene que ser reducida a azúcares sencillos antes de que la levadura pueda efectuar su trabajo de fermentación, finalmente, en el último de los casos, los constituyentes celulósicos de la madera u otros vegetales, normalmente infermentescibles por la levadura pueden, mediante hidrólisis transformarse directamente en azúcares fermentescibles.

En la fabricación de alcohol por fermentación se pueden distinguir --- tres operaciones: Preparación del mosto, fermentación del mosto, y --- destilación del vino producido.

PREPARACION DEL MOSTO.

Unicamente describiremos de las materias primas anotadas la preparación del mosto a partir de melaza, por ser una de las más empleadas --- en la Industria Nacional.

La preparación de la melaza para que pueda ser fermentada consiste en diluirla convenientemente, acidularla y añadirle las sales nutritivas

necesarias para la reproducción de la levadura.

Esta operación se lleva a cabo en tanques o cubas dotadas de agitadores ya sea, de aire o mecánicos, y con líneas de alimentación de vapor y agua. En la preparación de los mostos de melaza se distinguen los dedicados a la fermentación de la levadura madre y los que van destinados a la fermentación de las cubas productoras de alcohol. El mosto destinado a la levadura madre debe ser acidificado hasta el punto óptimo (pH 4.7), así como complementado con las sales nutritivas que falten o tenga en poca cantidad la materia prima. Cuando el contenido de fósforo en las melazas es bajo y dada su importancia para el desarrollo y proliferación de la levadura, es necesario agregar una sal que lo contenga.

Por lo general las melazas contienen suficiente proporción de nitrógeno en forma de aminoácidos, por lo que no es imprescindible la adición de sales amónicas; no obstante en la preparación del mosto destinado a la levadura madre se aconseja añadir una cierta cantidad de dichas sales.

Verlinden (9) recomienda adicionar, por cada tonelada de melaza las proporciones siguientes:

400 gramos de sulfato de amonio y 1000 gramos de superfosfato ó 500-gramos de fosfato diamónico ó 1600 gramos de autolizado de levadura.

Si las aguas que se emplean para la preparación de las melazas son pobres en sales magnésicas, es conveniente añadir 100 gramos de sulfato de magnesio por cada tonelada de melaza preparada.

Por el contrario, para la preparación de mostos destinados a la fermentación de las cubas de alcohol, solamente se suele añadir el áci-

do necesario para que se efectúe la fermentación en una forma normal y en el tiempo y con el rendimiento deseado, pues se considera que las sales nutritivas que aporta el pie de cuba son suficientes para el resto del proceso fermentativo.

En lo referente a la dilución de las melazas para la preparación de los mostos, hemos de considerar que las destinadas a la fermentación de la levadura madre deben tener una concentración tal en azúcar que el alcohol que se produzca, junto con la levadura, no perjudique la producción continua y rápida de la célula; generalmente, estos mostos presentan una densidad comprendida entre 1.075 y 1.080 g/ml -- (12-18 Bx)., un contenido de sacarosa de un 12 % y una acidéz sulfúrica de 2.5 g/l.

La levadura en la fermentación propiamente dicha puede resistir una concentración en alcohol hasta de un 9% y, teniendo presente que en la fermentación es interesante conseguir el total agotamiento de todo el azúcar presente, para evitar pérdidas por quedar azúcar sin -- fermentar, se pueden preparar mostos de una densidad de 1.100 a 1.105 g/cm³, con una riqueza en azúcar hasta de un 15% y una acidéz sulfúrica de 1.5 a 2g/l.

La mayor parte del "no azúcar" orgánico no nitrogenado de las melazas está constituido por las sales cálcicas y alcalinas de los ácidos orgánicos, fórmico, acético, butírico, propiónico y valeriánico, entre los volátiles, y tartárico, cítrico, málico, etc., entre los -- fijos.

La acidificación de los mostos, además de tener por objeto neutralizar y acidificar convenientemente el medio para que se origine la --

fermentación, deja, a la vez, en libertad los ácidos orgánicos volátiles que contiene la melaza y los cuales son perjudiciales, por su mayor o menor toxicidad, al desarrollo de la levadura. Por otra parte, descompone los nitratos y los sulfitos que pueda contener la melaza, los cuales se solían eliminar calentando a ebullición el mosto acidulado y haciendo pasar por el una corriente de aire que arrastraba, junto con los ácidos orgánicos volátiles citados, el dióxido de nitrógeno y el anhídrido sulfuroso; tal procedimiento es costoso dadas las grandes masas de líquido que hay que calentar y actualmente se considera obsoleto este procedimiento, ya que se ha comprobado -- que la aireación que se efectúa para el mezclado del ácido y la homogenización del mosto diluido son suficientes para la eliminación de los ácidos orgánicos volátiles, dióxido de nitrógeno y anhídrido sulfuroso y que, si se trabaja con una levadura aclimatada a los nitratos y sulfitos, no se observa ninguna alteración en el desarrollo de la fermentación. Desplaza, a los ácidos orgánicos fijos, con lo que se consigue obtener el mosto con un pH adecuado, efectúa además, esterilización, impidiendo el desarrollo y la propagación de otros microorganismos. Y por último, por la acción del ácido libre, ya sea orgánico o mineral, se realiza la inversión de la sacarosa, la cual, si no es total, se continuará en la cuba de fermentación por las enzimas segregadas por la levadura.

En acidificación no debe ser muy fuerte ya que la presencia de ácido sulfúrico libre perjudica el buen desarrollo de la levadura y la calidad de las sales potásicas. Una acidéz baja puede perjudicar el -- rendimiento de la fermentación, puesto que la levadura tenderá a es-

tabilizarse en el medio al pH más conveniente a su actividad.

El ácido que se emplea frecuentemente es el sulfúrico, pero en melazas con muchas sales de calcio y que por lo tanto tienen tendencia a formar incrustaciones tanto en la columna de destilación como en los evaporadores de melaza, se substituye por el clorhídrico, siempre y cuando convenga económicamente.

Algunas de las sales que se agregar son un fosfato o sal de amonio o si es posible fosfato diamónico; por razones económicas se usa el superfosfato y el cloruro o sulfato amónico.

PREPARACION DE LA LEVADURA.

Fase de laboratorio.

En el laboratorio se dispone de una colección de cultivos conservados en un medio sólido agar-glucosa que corresponden a diferentes razas de levaduras seleccionadas, las cuales cumplirán todas las características de una buena levadura alcohólica. (10)

Como la conservación en medio sólido durante largos períodos de tiempo origina alteraciones en las propiedades características de los — cultivos, es preciso renovarlos periódicamente; por lo tanto cada 2- o 3 meses se lleva a cabo una resiembra tomando con alambre de platino una pequeña porción del cultivo para inocular, con las precaucio- nes de asépsia que la técnica bacteriológica recomienda, un tubo de ensaye que contiene como sustrato agar-glucosa.

Es preferible el empleo de agar-glucosa para realizar estas siembras del cultivo, pues debido a las condiciones en que se encuentra vigorizan la levadura y hacen que se active y se encuentre en perfectas- condiciones fermentativas en menos tiempo.

Después de haber hecho varias resiembras de la levadura, ésta se encuentra en condiciones de volver a ser conservada por otro período -- de tiempo (varios meses) en el medio sólido adoptado.

Partiendo, pues, de un cultivo puro de la raza elegida, para poder -- introducirlo en la fábrica es preciso disponer, de mayor cantidad -- que la contenida en un tubo de ensaye, y con este objeto se procede -- a multiplicarlo, pasando del cultivo conservado en medio sólido a -- fermentar el mosto de un matraz que contiene aproximadamente diez ve ces más solución azucarada; con la levadura de este primer matraz se siembra un segundo que contendrá diez veces más cantidad de mosto -- que el primero. Se obtiene con tal procedimiento un volumen de mosto fermentado de aproximadamente un litro. Este volumen se inocular en un recipiente que contiene aproximadamente unos 10 litros de mosto -- con lo que se da por terminado el trabajo de iniciación de labora -- torio.

A partir de la levadura prensada. (11)

Existe otro procedimiento de preparación rápida de levadura para sem brar la cuba de levadura madre. Para ello se parte de la levadura -- prensada de panificación. Esta levadura es pura, seleccionada, pero por las manipulaciones a que está sometida a la salida de la fábrica es fácil que se encuentre contaminada.

El trabajo que se presenta, partiendo de ella es muy simple y rápido se reduce a tomar algunos gramos o kilogramos según las necesidades -- y diluirlos en la cantidad de mosto que sea conveniente, inyectar -- aire y a los pocos minutos toda la masa líquida ha entrado en fermen tación; cuando se tenga el volumen deseado se pasa a la cuba de leva

dura madre y nos encontramos como en el caso anterior.

Para evitar el desarrollo que pueda llevar consigo la levadura se recomienda, efectuar un tratamiento de depuración de la levadura prensada.

Este tratamiento consiste en un lavado de la levadura con ácido sulfúrico. De esta forma se eliminan las bacterias a la vez que ésta queda revigorizada. El procedimiento es: se disuelve la levadura con un 60-70 % de agua y a esta suspensión se agrega 1-1.5 % de ácido sulfúrico concentrado, se agita enérgicamente dejando que actúe durante una hora, y a continuación se puede sembrar el mosto esterilizado. Este mosto ha de tener una acidez más baja que la requerida para la fermentación, pues debe tenerse presente la acidez que aportará la levadura de siembra.

Fermentación de la levadura madre:

La cuba de fermentación de levadura madre es generalmente cilíndrica abierta y dispone de servicios de vapor, agua, aire y mosto, la entrada de vapor y aire es común y para el buen reparto de ellos dispone de un distribuidor. El vapor se emplea para las esterilizaciones; la refrigeración se hace por el exterior usando agua, que escurre por las paredes del recipiente, mediante el uso de un anillo circular perforado.

Es aconsejable emplear aire estéril, aún cuando los mostos no se esterilicen, se puede lograr esto haciendo pasar el aire por un lavador con algún producto desinfectante enérgico, por ejemplo: haciendo barbotar el aire en agua con permanganato ó benzal.

El tamaño de las cubas de fermentación de la levadura madre es del -

15 al 20 % del volumen de las cubas de fermentación. Su número mínimo es de dos, las que deberán ser suficientes para iniciar la fermentación de las cubas de alcohol.

La fermentación que acontece en estas cubas de levadura madre es un trabajo de fermentación reproductivo, que consiste en lograr la multiplicación de las células allí sembradas y conseguir las en gran número, vigorosas y capaces de hacer fermentar gran cantidad de mosto con una pequeña proporción de las mismas.

La producción de alcohol es reducida, no suele pasar del 5 %, pues perjudicaría, el poder fermentativo de la levadura. El desprendimiento de CO_2 es también débil.

Este período es, por lo tanto, de aumento de células de levadura, su duración depende del número de células de levadura sembradas y de la temperatura a que se mantenga la cuba madre.

La aireación se suele disminuir una vez que la fermentación ha comenzado con alguna energía, la adición del mosto es continua y se ha de regular de tal forma que la densidad del medio se mantenga como en las condiciones establecidas (constante), asegurando así la concentración en azúcar adecuada para la mejor reproducción celular. La refrigeración de la cuba se regulará de tal manera que su temperatura sea 28-30°C. Este factor regula la velocidad de fermentación de la levadura madre, disminuyendo la temperatura y la aireación cuando es demasiado rápida y por el contrario cuando es lenta.

FERMENTACION ALCOHOLICA.

Esta es la fermentación propiamente dicha y en la cual se consigue transformar el azúcar del mosto en alcohol, aún cuando es ine - - -

vitabile que ocurra algún proceso reproductivo; por efectuarse la fermentación en medio anaerobio, la reproducción se encuentra muy limitada, lo que no ocurre en la fermentación de la levadura madre ya -- que se estimulaba la reproducción de la levadura haciendo el medio -- aerobio mediante la agitación por aire.

Es interesante que en las cubas de alcohol no se reproduzca la levadura, que todo el azúcar se transforme en alcohol y no se consuma en procesos de asimilación y reproducción, ya que entre ciertos límites representa una mejoría en el rendimiento en alcohol.

Considerando que se efectúa un mejor aprovechamiento del azúcar cuando se emplea en la producción de alcohol que cuando lo es en la re-- producción de la levadura.

Si exceptuamos la aireación, el resto del proceso se conduce en general como ya se ha descrito en las cubas de levadura madre.

Las cubas de fermentación alcohólica son generalmente de fierro. Su tamaño depende de la importancia de la destilería así como de la materia prima que se emplee. La refrigeración de las cubas se efectúa haciendo descender por su superficie lateral una película de agua -- fría; esta película se consigue, de igual forma que para las cubas -- de levadura, por medio de un anillo con perforaciones por el cual -- circula agua.

Estas cubas pueden ser abiertas o cerradas; en el primer caso cuando no se proceda a la recuperación del anhídrido carbónico ni del alcohol que aquél arrastre y en el segundo caso cuando si se realiza recuperación.

Los servicios de que disponen las cubas son: tubería de agua y de va

por, para efectuar limpiezas y esterilizaciones cuando sea preciso, y tubería de alimentación con mosto general. A un tercio aproximadamente del fondo está situada la entrada de la tubería general que conduce y distribuye por toda la sala de fermentación la levadura madre y por lo que se efectúa la siembra de la cuba. En el fondo de estas cubas, en su parte baja, está salida del producto fermentado que se bombea al tanque de alimentación de la columna de destilación.

DESTILACION INDUSTRIAL.

GENERALIDADES.

La destilación propiamente dicha tiene como objeto separar de un líquido sus componentes más volátiles, dejándolo completamente agotado. En el caso de la destilación alcohólica el líquido de que se trata es el vino o mosto fermentado, del cual se separa la casi totalidad de alcohol junto con los productos más volátiles y algo de agua; esta parte separada recibe el nombre de flema, llamándose vinazas la parte de líquido agotada de alcohol, agua y las materias sólidas contenidas en el vino. Esta flema alcohólica así separada en una primera destilación requiere de otra segunda destilación en columnas adecuadas para obtener, por una parte, alcohol a una concentración y con un grado de pureza lo más elevado posible, y, por otra, el agua y las impurezas que lo acompañaban; este segundo tratamiento constituye en la industria alcoholera, la operación conocida por rectificación. Estas dos operaciones pueden realizarse tanto en aparatos de funcionamiento continuo, como discontinuo.

DESTILACION DISCONTINUA.

Los aparatos más sencillos de destilación son los alambiques.

El alambique más elemental está constituido por tres partes principales: la caldera o calderín, en la que se introduce el líquido a destilar y que se calienta, ya sea a fuego directo, por medio de resistencias o por medio vapor; la cabeza, que es un recipiente, super puesto al anterior, que forma una cámara para alojar los vapores que se produce; la trompa de elefante o cuello de cisne, según su forma, alargada por la que pasan los vapores al serpentín, tubería en espiral-

sumergida en agua fría en circulación para la condensación de los vapores.

El uso de los alambiques está limitado a destilaciones en pequeña escala, obtención de licores y otras.

DESTILACION CONTINUA.

La destilación continua es propia para tratar grandes cantidades, y la mayor parte de las instalaciones industriales trabajan con aparatos de este tipo; en ellos el vino que se hace destilar entra continuamente en la columna, del cual fluyen, igualmente en forma continua las flemas (producto destilado) y las vinazas (residuo del fondo de la columna).

La alimentación del vino a la columna se efectúa en un plato situado en la parte intermedia (plato de alimentación); hacia arriba de este plato tenemos la zona de rectificación y hacia abajo se tiene la zona de agotamiento.

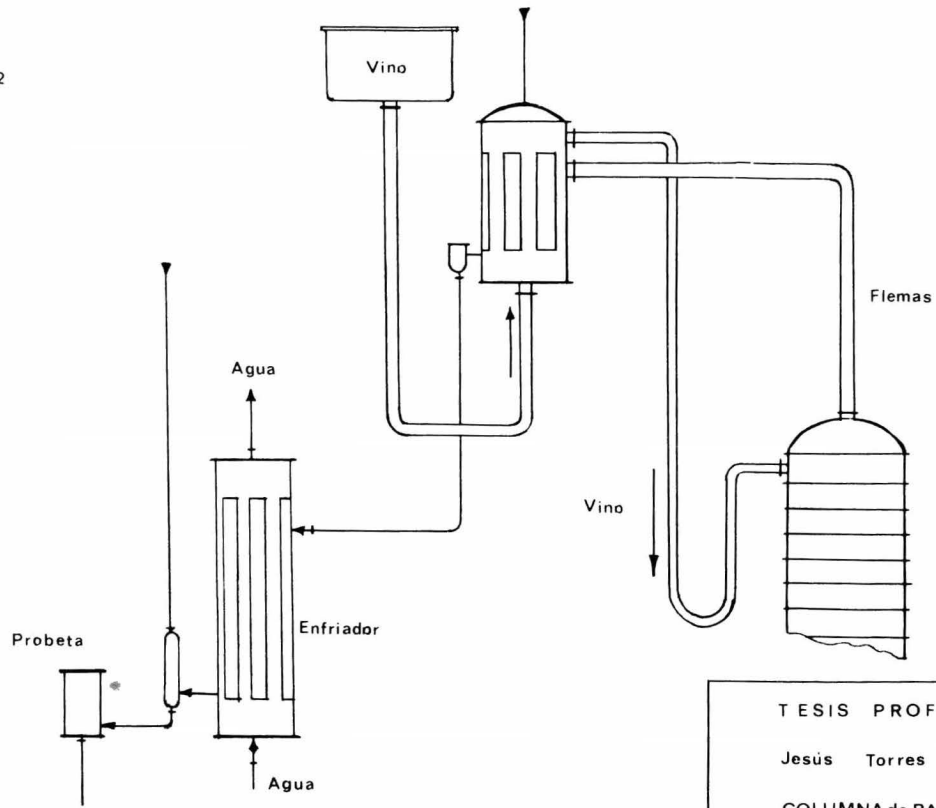
CLASES DE COLUMNAS.

Las columnas se pueden clasificar de diferentes maneras.

Si consideramos su posición, pueden ser: verticales, horizontales e inclinadas. La posición normal de las columnas es la vertical, pero implica la construcción de estructuras elevadas, para resolver este problema, se construyeron columnas horizontales e inclinadas, actualmente sólo se construyen verticales, pues su altura se ha reducido considerablemente.

Considerando, la forma en que se obtiene el contacto líquido - vapor se tienen columnas de platos, empacadas y de pulverización. En la Industria del Alcohol se utilizan sólo columnas de platos, éstas colum

Fig. 2



TESIS PROFESIONAL
Jesús Torres Merino
COLUMNA de BAJO GRADO
LAB. ING. QUIMICA
F.Q. U N A M

nas se clasifican en columnas de bajo y alto grado.

COLUMNAS DE BAJO GRADO (Fig. 2).

Se caracterizan por carecer de condensador y la alimentación del vino se hace por la parte superior. Las flemas que producen no pueden tener más concentración que la correspondiente a la temperatura a -- que se encuentra el plato superior y a la concentración del vino a -- destilar.

Esta columna es realmente una columna de agotamiento, puede provocar se un cierto reflujo con el empleo de un condensador denominado ca-- lienta vinos, cuyo fin principal es la recuperación del calor de los vapores alcohólicos antes de que pasen a un segundo condensador - en friador, cediendo algunas calorías al vino que se está alimentando a la columna.

COLUMNAS DE ALTO GRADO. (Fig. 3)

Estas columnas tienen la alimentación en vino a un tercio de su parte superior, aproximadamente. En ellas se puede distinguir claramente la sección de rectificación y la de agotamiento, separadas por el plato de alimentación y un anillo más espacioso, para evitar el paso de espuma. La primera se puede componer de 10 a 15 platos y la se-- gunda de 18 a 22.

En estas columnas la concentración se consigue por el adecuado reflu jo, que se logra con el calienta-vinos y el condensador-enfriador.

COLUMNAS DESTILADORAS.

ELEMENTOS.

El material que se emplea generalmente en la construcción de estas - columnas es el cobre, aunque también suelen construirse en fundición

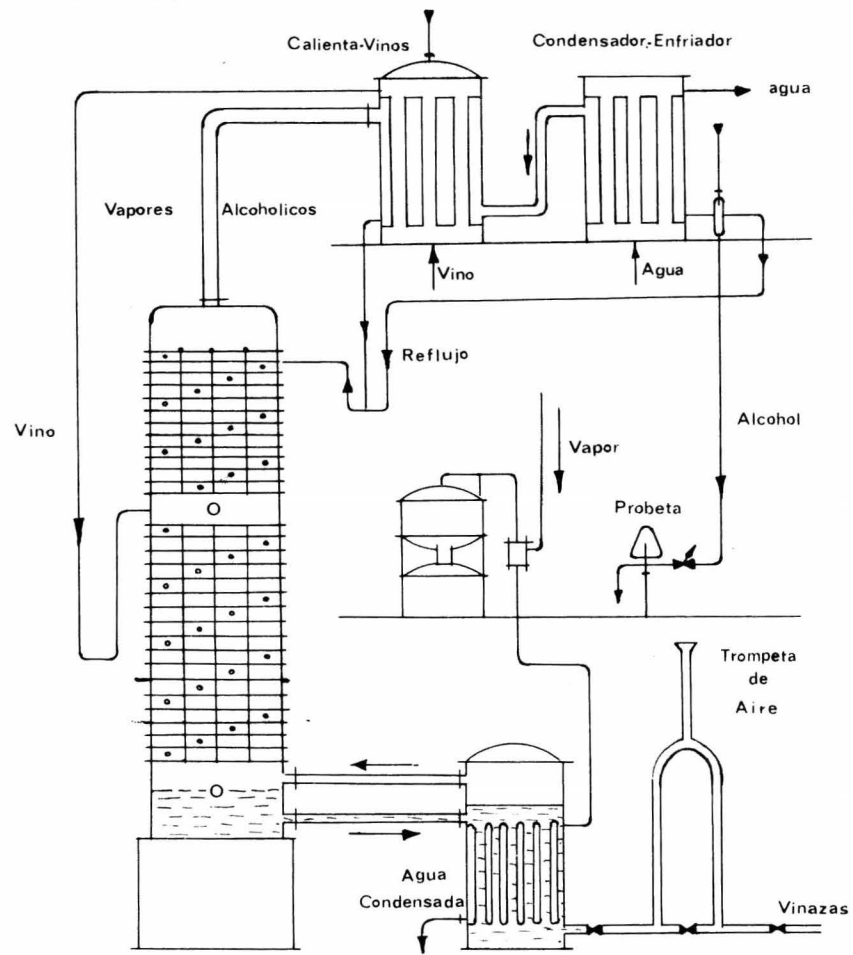


Fig. 3

TESIS PROFESIONAL
 Jesús Torres Merino
 COLUMNA de ALTO GRADO
 LAB. ING. QUIMICA
 F Q U N A M

y, algunas veces en aluminio y acero.

Las columnas de destilación en las que el vino contiene materias en suspensión, y que, por lo tanto, pueden producirse obstrucciones, se componen de platos independientes, cada uno de los cuales constituye un anillo o elemento de la columna, pues de esta forma se facilita su limpieza y montaje.

Por el contrario, en las columnas de rectificación cada anillo o elemento está compuesto por varios platos de cuatro a seis, ya que en ellos no existe peligro de incrustación.

Los platos presentan generalmente sección circular, habiéndose abandonado la construcción de columnas de sección rectangular.

La unión de plato a plato se efectúa mediante un empaque de cartón grafitado, y basta el peso del plato para formar el cierre; no obstante, este cierre se asegura con grapas o tornillos. Las columnas de gran sección suelen tener unas columnas interiores construidas con dos fines: uno el seguir la perfecta horizontalidad de los platos y el otro dar solidez al conjunto.

En cada plato podemos distinguir los siguientes elementos: las chimeneas, que son ductos por los que circular los vapores alcohólicos que proceden del plato inferior. Cubriéndolas se encuentran las campanas o cachuchas, que tienen por objeto hacer que los vapores que llegan por las chimeneas borboten en el líquido alcohólico existente en el plato. Para dar salida a este líquido al plato inferior se dispone de rebosaderos, los que, por encontrarse a cierta altura del fondo del plato, aseguran la existencia de una cantidad mínima de líquido; por éstos es por donde se realiza el reflujó. Para asegurar-

la perfecta circulación del líquido por el plato se disponen en él - divisiones en forma de laberinto que separan el reflujo del plato su perior de la salida por el rebosadero al plato inferior.

Además de estos elementos cuentan las columnas con: mirillas de inspección, termómetros, manómetros y algunos otros instrumentos de med- dición o control en determinados platos.

VINAZAS.

La evacuación de las vinazas se efectúa de tal manera que, no se --- pierda la presión existente en la columna ni que junto con ellas sal ga vapor. Para ello se recurre al sifón (Fig. 4)

A la salida de la tubería de las vinazas se coloca una válvula, por- medio de la cual se consigue regular su nivel en la base de la columna.

En la base de la columna se dispone finalmente de una válvula de lim pieza por la cual se vaciará una vez terminada la operación.

Este plato, base de la columna de destilación, se complementa con un manómetro de agua que permite conocer la presión existente en el fon do de la misma, así como una toma de muestra de las vinazas evacua--- das, las cuales, después de ser convenientemente refrigeradas, servi rán para comprobar su agotamiento en alcohol. Esta comprobación sue le efectuarse de modo continuo, haciendo que las vinazas refrigera--- das se viertan en una probeta en la cual se encuentra un alcohometro, graduado de 0 a 3° G. L., que debe marcar 0° G. L. a 15° C.

Las vinazas al salir de la columna, tienen una temperatura de 100 - 105° C., por lo que es muy importante la recuperación del calor que- llevan.

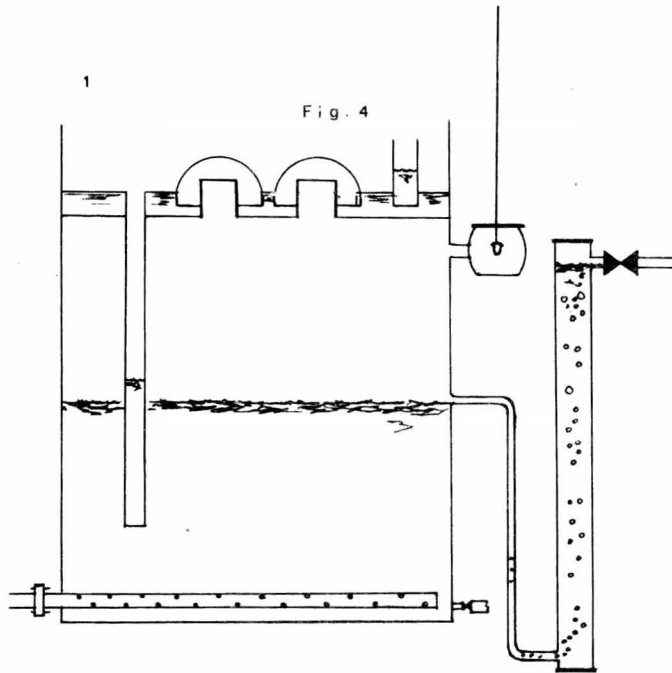


Fig. 4

- 1.- Sifón de evacuación de vinazas
- 2.- Conexiones de condensador y condensador-enfriador

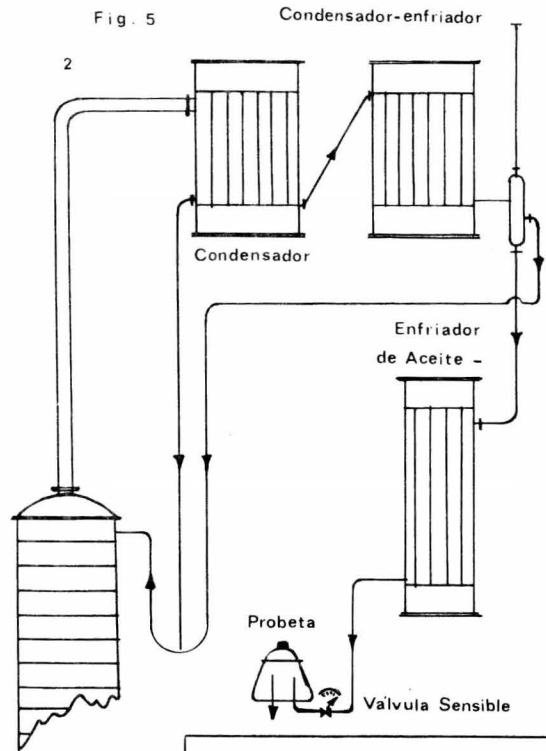


Fig. 5

TESIS PROFESIONAL
 Jesús Torres Merino.
 LAB. ING. QUIMICA.
 F. Q. U N A M

32

Es muy importante que el vino entre en la columna a la temperatura - próxima a su ebullición, y esto se puede efectuar en un recuperador. En esencia es un sencillo cambiador de calor por el cual circulan a- contra-corriente las vinazas calientes y el vino, el cual se calien- ta. La temperatura que alcanza generalmente no pasa de los 60° C.,- por lo que del calienta vinos pasa al recuperador antes de entrar en la columna.

Para aprovechar el calor que aún contienen las vinazas se llevan, an- tes de su evacuación definitiva, a otro recuperador de calor, en el- que calientan el agua de alimentación de las calderas.

Dado que las vinazas son ricas en sales, a medida que se enfrían se- producen depósitos salinos que originan incrustaciones en los diferen- tes aparatos citados. Es por esto que, se recomienda que estén cons- truídos con haces tubulares de fácil limpieza.

En algunas destilerías se aprovechan las vinazas o parte de ellas, en la preparación de los mostos para fermentar.

CONDENSADOR CALIENTAVINOS.

Los vapores que se desprenden del último plato de la columna (domo) se condensan para obtener las flemas correspondientes; una parte del condensado se regresa como reflujo a la columna, para obtener las -- flemas de alto grado; el resto del líquido constituye el producto de la columna.

Para conseguir esta condensación (de vapores alcohólicos) se debe -- disponer de dos condensadores; por uno de ellos circula el vino y -- funciona como un calienta-vinos corriente y por el otro circula agua y actúa de condensador-enfriador. En el primero sólo se efectuará -

una condensación parcial, mientras que en el segundo la condensación ha de ser total al mismo tiempo que se enfría (Fig. 5)

CALEFACCION DE LA COLUMNA.

Puede realizarse en cualquiera de las formas siguientes: por vapor -abierto (por borboteo) y por vapor cerrado con serpentín o haz tubular, descartándose el calentamiento a fuego directo o por calentamiento con resistencias eléctricas, propios de pequeños alambiques.

La calefacción con vapor abierto presenta ventajas e inconvenientes; es empleada en mayor escala en las destilerías industriales, pues el diluir las vinazas lleva a cabo un cierto lavado del vino mejorando la calidad de las flemas obtenidas; un inconveniente es su mayor consumo de agua y la dilución de las vinazas aproximadamente en un 10%, complicando la recuperación de las sales que lleva en solución, recuperación que generalmente se efectúa por evaporación.

Una gran ventaja de el procedimiento de borboteo, es que resulta muy simple su instalación además de ser económico.

El procedimiento consiste en introducir a la columna el vapor mediante un tubo perforado o un serpentín en espiral, también perforado, - con lo que se consigue una mejor distribución del mismo.

La calefacción por serpentín (vapor cerrado) exige mayores dimensiones de éste y presenta el inconveniente de no diluir las vinazas y, - por lo tanto, no se realiza el lavado que asegura una mejor calidad del alcohol producido, al mismo tiempo que se presentan obturaciones u otros inconvenientes; por el contrario el consumo de agua resulta muy pequeño, ya que se puede llevar el condensado para la alimentación de la caldera.

El empleo de haz tubular hace que las vinazas que salen de la columna se lleven a ebullición. El rendimiento de este tipo de calentadores es defectuoso a causa de la presencia de incondensables y la facilidad con que estos tubos se obturan.

ACCESORIOS.

Una vez que la columna ha alcanzado su régimen normal de trabajo, su presión interior debe ser constante. Las variaciones que inevitablemente se producen ya sea en la concentración del vino que llega, ya sea en las condensaciones, etc., hacen que se modifiquen las necesidades de calor y presión.

Algunos dispositivos para lograr éste control son:

Regulador de Presión.

Antiguamente se usaba el regulador de vapor tipo Savalle y otros como el de Barbet, actualmente el control se ajusta con una válvula automática de tipo neumática o eléctrica de acuerdo con la presión manométrica existente en el fondo de la columna, medición que se hace con manómetros de agua u otros.

Probetas.- Dispositivos de regulación destinados a medir el grado alcohólico de las flemas o alcohol rectificado y su gasto. Se sitúan a la salida del condensador enfriador, llegando, a ellas el líquido-condensado.

Existen diferentes tipos de probetas; los más generalizados están --
construidos en vidrio y tienen armadura metálica.

ARRANQUE DE LA COLUMNA DE DESTILACION DE ALTO O BAJO GRADO.

Si consideramos un aparato recién instalado, es preciso efectuar una minuciosa comprobación de todos sus elementos y principalmente de --

los aparatos o dispositivos de registro, ya que estos nos indican la forma como trabaja la columna.

Se hace circular agua por todo el equipo con el objeto de encontrar-
posibles fugas.

Consideremos el aparato de destilación continua de la (Fig. 6) el --
cual consta:

- A.- Depósito de vino (mosto fermentado) por destilar.
- B.- Depósito regulador del vino por medio de flotador.
- C.- Válvula sensible de paso de vino a la columna.
- D.- Calientavinos.
- E - F.-Columna de destilación.
- G.- Enfriador.
- H.- Botella y trompeta de gases del enfriador.
- I.- Probeta del líquido destilado.
- J.- Sifón de evacuación de vinazas.
- K.- Recuperador de calor de las vinazas.
- L.- Válvula reguladora del agua de refrigeración.
- M₁ y M₂.- Manómetros graduados en centímetros de agua.
- R.- Regulador de vapor de escape y del vapor directo.
- V.- Válvula de vapor.

La prueba con agua se realiza bombeándola desde un tanque cualquiera de fermentación, así podemos comprobar el funcionamiento de ésta y - del flotador del depósito, B, que será el que asegure una carga cons
tante y regular. Enseguida se puede comprobar el funcionamiento de - la válvula de control (sensible), C, su gasto debe ser constante y - es prácticamente igual al volumen bombeado desde el tanque de fermen

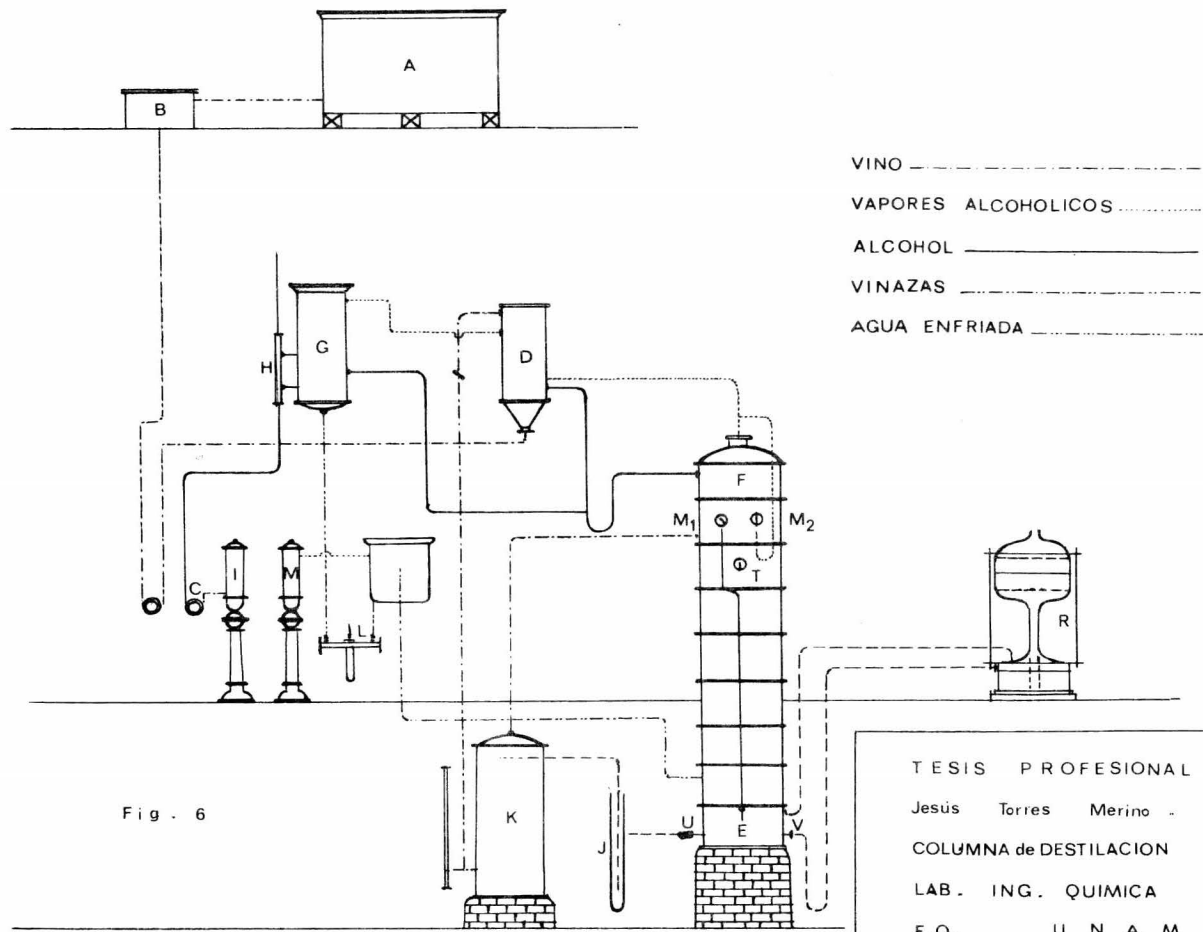


Fig. 6

TESIS PROFESIONAL
 Jesús Torres Merino -
 COLUMNA de DESTILACION
 LAB. ING. QUIMICA
 F.Q. U N A M

tación al depósito, A.

Siguiendo el recorrido de agua que, como comprobación preliminar, estamos realizando, vemos que ésta, después de pasar por C, llega al calentavinos D, después al recuperador K, de donde pasa al plato de alimentación.

Antes de comenzar a calentar se verifican las fugas o cualquier anomalía que se observe; una vez la columna en condiciones se abre lentamente la válvula de vapor, ya sea directo o de escape.

Enseguida el agua de la base de la columna comienza a hervir y su vapor, subiendo de plato en plato, hace que vaya, a su vez entrando en ebullición el líquido contenido en ellos. Los termómetros situados en los diferentes platos de la columna se verifican con la temperatura de ebullición del agua a la presión atmosférica del lugar.

Los vapores pasan por los platos superiores F, hasta llegar al calentavinos D, en donde se condensarán y se recircula una cierta cantidad hacia la columna, hasta que la temperatura del líquido condensado se eleva y los vapores pasan parcialmente al enfriador G.

Transcurrido un cierto tiempo, se abre lentamente la válvula L, que permite el paso del agua al enfriador G. Así mismo se abrirá la válvula L, de la refrigeración de los vapores procedentes de la zona de agotamiento. El gasto en la probeta M, deber ser muy pequeño, solamente lo suficiente para comprobar que no contienen alcohol, pues de ésta forma se evita un gasto inútil de vapor.

A la probeta I, llega el agua destilada, que pasa después a los depósitos de alcohol, permitiendo comprobar que las tuberías no presentan fugas.

Comprobada la columna, así como sus diferentes elementos especialmente los de registro y control, se está en condiciones de subsistir el agua del depósito, A, con el vino a destilar.

RECTIFICACION.

GENERALIDADES.- Efectuada la destilación del vino, se obtienen fle--
mas de 45-50° G.L. algunas veces de 75° C.L. o mayores, pero estas--
flemas por contener todas las impurezas volátiles que tenían los vi--
nos, alcoholes superiores, éteres, aldehícos, etc., resultan inadec--
cuadas como alcohol potable.

Para obtener alcohol puro, es necesario purificar las flemas, opera--
ción que se conoce como rectificación.

PRINCIPALES IMPUREZAS.- Las principales impurezas que se encuentran--
en las flemas a parte de los homólogos del etílico tales como alcoholo
propílicos, isobutíricos, amílicos, caproicos, etc., son:

El aldehído acético, y los aldehídos que se forman por oxidación de--
los distintos alcoholes existentes.

Los ácidos, unos ya presentes en el vino destilado y otros formados--
por la oxidación de los aldehídos.

Los éteres, existentes en el mosto fermentado, unos y otros producto
de la reacción de los alcoholes con los ácidos.

La glicerina y su producto de deshidratación, la acroleína.

El furfurool, procedente de las pentosanas contenidas en el mosto.

El amoniaco y algunas bases orgánicas.

Y por último una serie de productos volátiles, formados por la reac--
ción de las impurezas citadas.

Estas impurezas, atendiendo al orden en que se destilan, se clasifi--

can en la industria como producto de cabeza, o simplemente cabezas, cuando se destilan antes que el alcohol y están contruídos por los productos de bajo punto de ebullición, aldehídos y éteres, y como productos de cola, o colas cuando por tener un punto de ebullición mayor que el del alcohol destilan después de él; componen las colas los alcoholes superiores, los cuales se conocen como aceites de fusel.

RECTIFICACION DISCONTINUA.

La operación industrial se lleva a cabo de tal forma que, por una parte se obtenga alcohol etílico de 96.5° G.L. y por otra los cuerpos extraños contenidos en las flemas, en forma de una mezcla alcohólica, con la menor cantidad de alcohol que sea posible.

Esta operación, se lleva a cabo en un alambique de alto grado, en el se pueden distinguir las cuatro partes principales del aparato.

A. La caldera o calderín que se calienta mediante un serpentín sumergido entre las flemas y por el que circula vapor.

B. La columna de rectificación compuesta de un número de platos que oscila entre treinta y cincuenta. Los vapores procedentes de la caldera, después de atravesar un rompeespumas, llegan a la base de la columna.

En el rompeespumas se coloca un termómetro que permite registrar las diversas temperaturas de los vapores que entran en la columna.

C. Un condensador, generalmente de haz tubular; los vapores circulan por la coraza mientras que el agua lo hace por los tubos. El reflujo parcial que produce este condensador vuelve a la columna entrando por el plato superior.

D. Un enfriador tubular, que refrigera los productos que de él pasan a la probeta y en el que se condensan los vapores que no lo hicieron en el condensador.

Operación.- La caldera se carga al principio de la operación con flemas de bajo grado, 45° G.L. y se comienza la alimentación del vapor por el serpentín de calentamiento. Cuando los vapores alcohólicos pasan por el rompeespumas es necesario disminuir la calefacción, continuando esta disminución a medida que se van cargando los platos de la columna.

El agua al condensador se abre al máximo flujo, con el objeto de obtener primero el reflujo total y posteriormente se aumenta la presión en el serpentín y entra en servicio al regulador.

Enseguida se reducirá un poco el paso de agua con lo que el reflujo disminuye, dejando pasar algunos vapores al enfriador. Estos vapores son muy impuros, pues contienen todas las impurezas más volátiles de las flemas que constituyen las cabezas. En la probeta se registra su calidad y se envía al depósito de cabezas.

A continuación se destilan líquidos con menos impurezas a los que se les conoce como alcohol de mediano gusto de cabeza, y desde la probeta se manda a un depósito adecuado.

El tiempo en que se obtiene este alcohol de gusto medio es aproximadamente un cuarto del tiempo total invertido en la destilación.

A medida que continua la operación, la calidad del alcohol que se obtiene va mejorando, apareciendo enseguida el alcohol de buen gusto o corazón. Las primeras fracciones tienen una composición de 93-94° G.L., pero posteriormente se obtiene una pureza de 96,5° C.L. Termi-

nando el alcohol de buen gusto, aparece el alcohol de mediano gusto-
de colas y finalmente los productos de cola.

La proporción de estas diversas clases de alcohol, varía tanto con -
el tipo de aparato empleado y su eficiencia, como con la calidad de-
la flema rectificadora y con la clase de alcohol de buen gusto que -
se desee obtener. El rendimiento de alcohol de buen gusto es varia-
ble según la materia prima y la calidad que se exija. Una buena ca-
lidad se consigue obteniendo un 75 % del de buen gusto, un 6 % de ma-
los gustos y un 19 % de medianos gustos.

Al ir a terminar la operación la temperatura será de 99-100° C, has-
ta concluir el agotamiento, al pasar los aceites pesados. Se cierra
el vapor, y una vez vaciada, la caldera queda lista para recibir ---
otra carga.

RECTIFICACION CONTINUA.-

Todos los aparatos de rectificación continua, se basan en los mismos
principios y tienen en general los siguientes elementos:

A.- Columna deflemadora o columna depuradora. En ella se separan la-
casi totalidad de los productos de cabeza.

B.- Columna rectificadora propiamente dicha. En la que el alcohol se
econcentra y se separan los productos de cola y aquéllos que al for-
mar mezclas azeotrópicas, ya sea entre sí o con el alcohol, destilan
a una temperatura de ebullición menor que la de sus constituyentes.
Uno de ellos es el alcohol amílico.

Estas dos columnas son del tipo de las de alto grado; constan de --
una zona de agotamiento y otra de rectificación.

C.- Columna repasadora o dispositivo de pasteurización actúa sobre -

el alcohol concentrado perfeccionando su depuración y completando la separación de las impurezas que pudiera contener.

D.- Columna destiladora. En ella se perfecciona el agotamiento del alcohol de las vinazas y en determinados casos, produce el vapor necesario para una o varias de las otras columnas.

CLASIFICACION DE LOS EQUIPOS CONTINUOS DE RECTIFICACION.

Se puede realizar una clasificación regional, según los casos y según las necesidades a satisfacer. Si se dividen en dos grupos, cada uno de ellos presentará algunas pequeñas variantes de detalle.

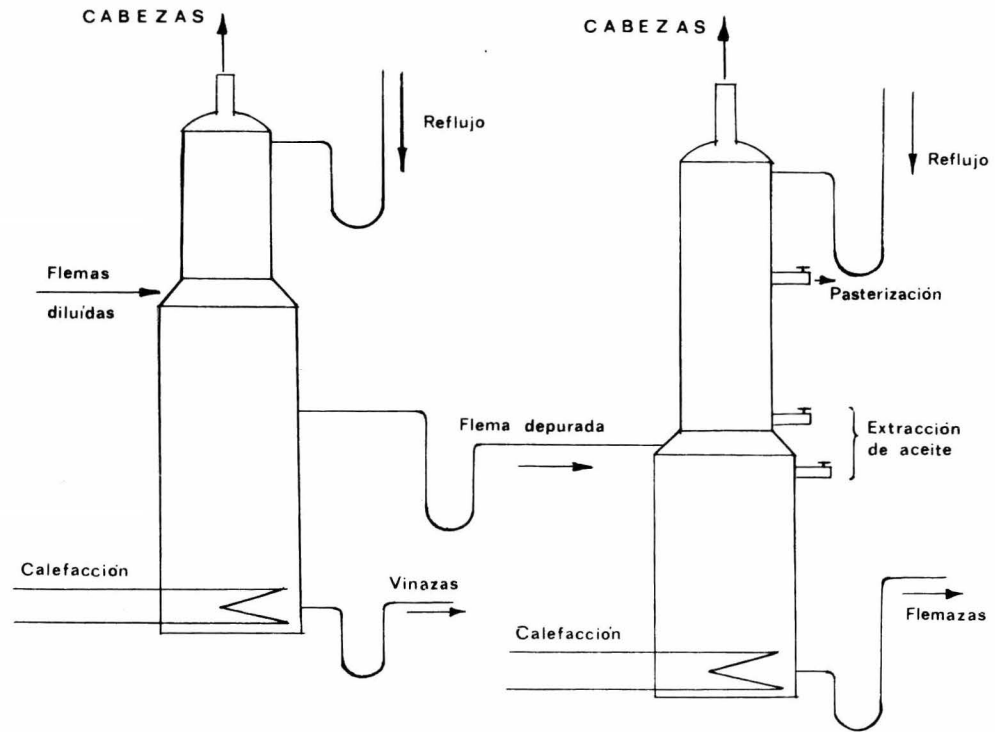
Estos grupos son: rectificadores de flemas y rectificadores de mosto fermentado (vino). El primero comprende los aparatos de rectificación propiamente dichos, es decir los aparatos que realizan la rectificación de las flemas procedentes de la destilación de los vinos. El segundo grupo comprende los aparatos que realizan a la vez la destilación y la rectificación a partir de mosto fermentado.

RECTIFICADORES DE FLEMAS.-

Tomando como punto de partida las flemas procedentes de una destilación ordinaria, existen de dos tipos de alto y bajo grado. En el primer caso se adiciona agua hasta alcanzar una concentración alcohólica de 30-40° G.L., una vez en estas condiciones, la flema diluída pasa a la columna depuradora.

En esta columna, la flema es privada de la mayor parte de los productos de cabeza, y de ahí pasa a la columna rectificadora.

Esta columna presenta un dispositivo que permite la extracción de aceites. Dentro de este tipo de rectificación indirecta se puede considerar una variante. (Fig. 7).



DEPURADORA

RECTIFICADORA

Fig. 7

TESIS PROFESIONAL
 Jesús Torres Merino .
 Rectificadora de flemas, variante.
 LAB. ING. QUIMICA
 F Q U N A M

Que consiste en que la zona de agotamiento de la columna depuradora se compone de un número mayor de platos, por lo que en ella se producen vinazas.

El líquido alcohólico que pasa a la rectificadora de toma de uno de los platos de la columna que posee a una concentración de unos 40° - G. L. aprox.

El tipo más simple de aparato para el tratamiento de las flemas es el representado en la Fig. 8.

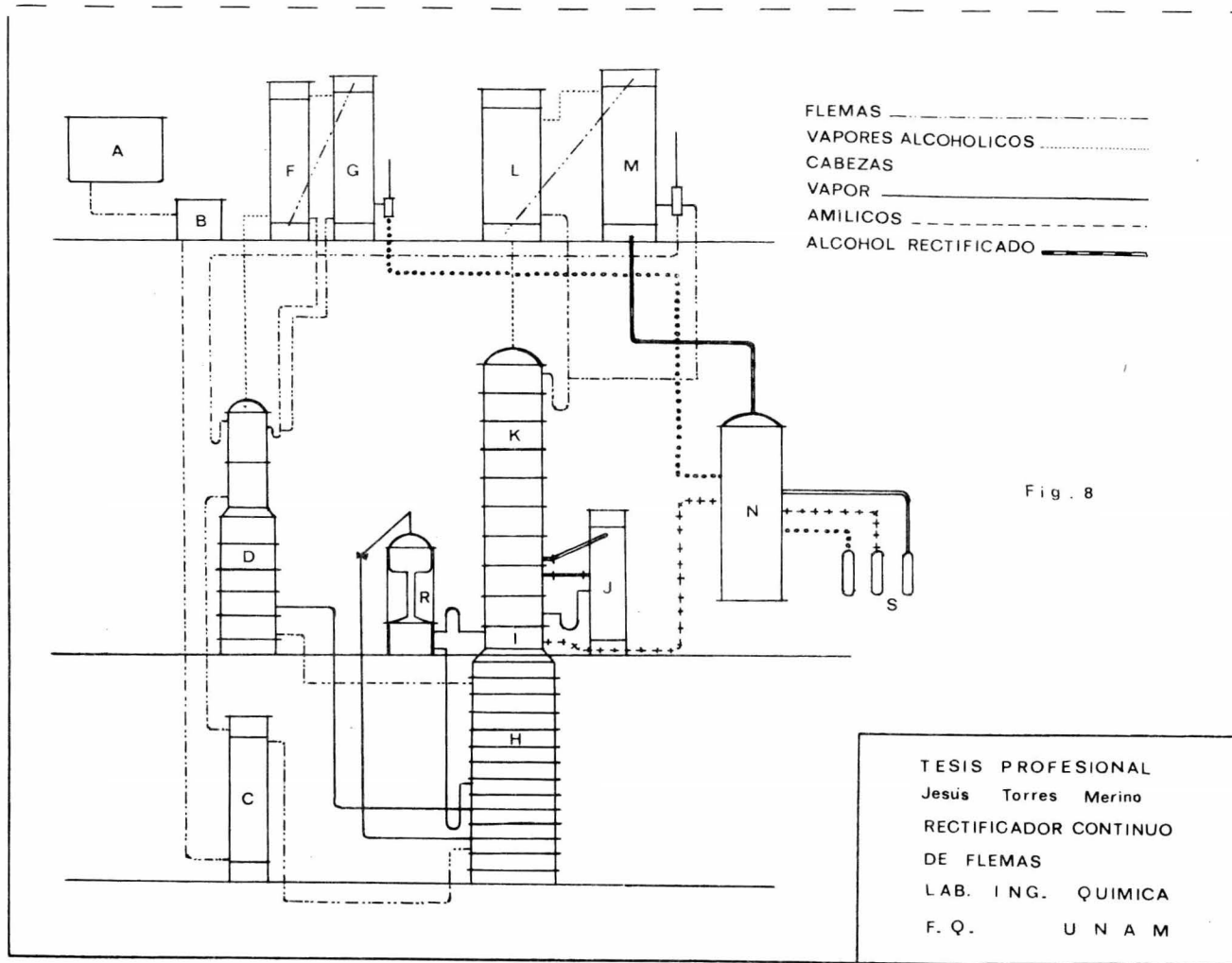
En este aparato, como en todos los rectificadores continuos, las flemas tienen que pasar por las dos columnas principales: la depuradora D y la rectificadora propiamente dicha H-K.

Las flemas contenidas en el tanque de alimentación A pasan al regulador de carga B, provisto de flotador, y de ahí al recuperador de calor entrando posteriormente a la columna depuradora.

Esta columna tiene condensador F en el cual los vapores alcohólicos se condensan y de ahí pasan como reflujo a la columna.

El condensador-enfriador G, está provisto de un dispositivo de evacuación de cabeza; la extracción se realiza en la base con el fin de conseguir una refrigeración lo más completa posible.

Los productos de cabeza que se desprenden en la columna depuradora se enriquecen al máximo en el domo de esta columna.



CAPITULO II

EXPERIMENTACION:

La experimentación para producir alcohol etílico por fermentación se llevó a cabo en dos fases:

1o.- Fase Laboratorio

2o.- Fase Planta Piloto

1o.- FASE LABORATORIO:

El micro-organismo empleado en las fermentaciones Industriales (16) para la producción de alcohol etílico es el *Saccharomyces cerevisiae* comunmente llamado levadura, del que existen varias razas (17); por lo que el objetivo de esta primera fase es seleccionar la más adecuada considerando los siguientes aspectos:

1o.- Velocidad de crecimiento del micro-organismo

2o.- pH en el cual se tiene máximo crecimiento

3o.- Concentración de glucosa para la que se logra la máxima eficiencia (máximo crecimiento a baja concentración en azúcares).

4o.- Producción de alcohol (Riqueza alcohólica)

Los cultivos de Levadura disponibles son:

Saccharomyces cerevisiae 4124

Saccharomyces cerevisiae 4110

Saccharomyces cerevisiae E. L.

Las levaduras S.c. 4124 y 4110 corresponden a la clasificación de la American Culture Collection y S.c. E.L. es una levadura tipo Jansen-aislada en los Laboratorios Nacionales de Fomento.

Antes de experimentar para llevar a cabo la selección se recomienda verificar la pureza de las cepas, mediante el experimento siguiente:

EXPERIMENTO No. 1

Pureza de las cepas.

10.- El experimento consiste en sembrar las tres razas de levadura en un medio sólido de agar-glucosa estéril contenido en cajas de Petri con el objeto de observar su crecimiento y pureza.

Las características del medio de cultivo No. 1 son:

Glucosa	10 Gramos
Agar-Agar	2 gramos
Extracto de levadura.	0.5 gramos
Sulfato de amonio	0.5 gramos
Fosfato monosódico	0.2 gramos
Agua destilada	100 gramos

20.- Hecha la siembra en cajas de Petri y con un tiempo de incubación de 24-48 horas a 30° C, visualmente se puede reconocer crecimiento celular en la superficie del medio presentándose en forma de puntos blanquecinos que aumentan con el tiempo.

30.- Para verificar la pureza de la cepa se observan estas colonias en frotis coloreados con azul de metileno con ayuda de microscopio. Si existiera contaminación se procedería a la purificación de la cepa contaminada por resiembras consecutivas en cajas de Petri hasta que la contaminación sea negativa.

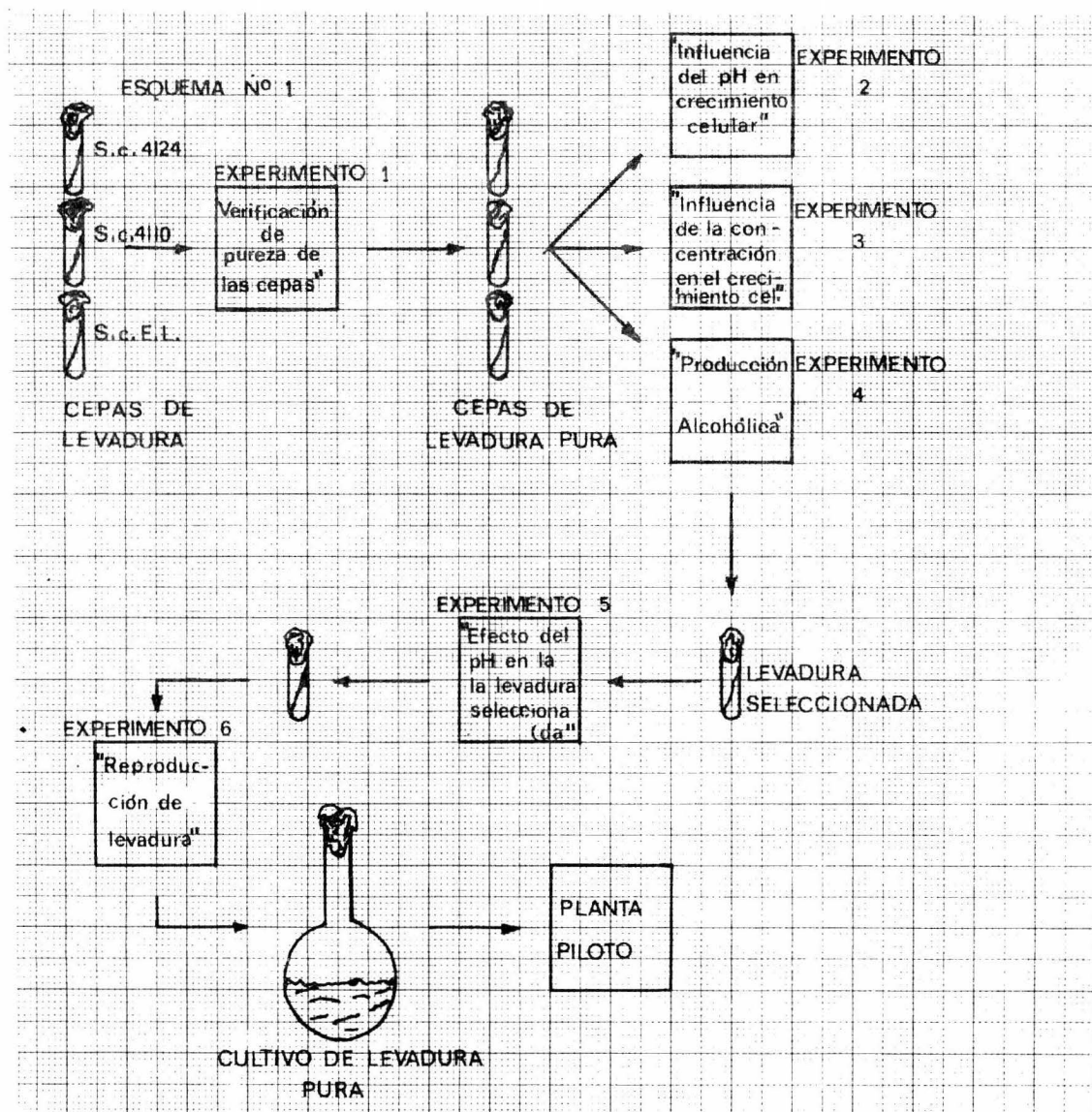
RESULTADOS:

En la siguiente tabla se muestra el resultado de estas observacio-

nes:

Tabla No. 1.- PUREZA DE LAS CEPAS.

Cepa	Medio	Tiempo de incubación, hr.	Temp.de incub., °C.	Contaminación - (observ. 1000 X)
S.c.4124	# 1	48	30	Negativa
S.c.4110	# 1	48	30	Negativa
S.c.E.L.	# 1	48	30	Negativa



LA SELECCION

Se elige aquélla raza de levadura que observe mayor velocidad de crecimiento y produzca la máxima concentración alcohólica, para una determinada solución azucarada.

Tanto la velocidad de crecimiento como la producción de alcohol etílico, dependen de: la concentración de azúcares, pH, temperatura de incubación, contenido de sustancias nutritivas, y, otras de menor influencia, como, la presión atmosférica, humedad ambiente, etc.

EXPERIMENTO No. 2

En este primer experimento de selección solamente se modificó el pH, manteniendo constantes las demás variables, se empleó un medio de cultivo líquido de las características indicadas (medio de cultivo No. 2):

Medio de cultivo No. 2

Glucosa	10 gramos
Extracto de levadura	0.5 gramos
Sulfato de amonio	0.5 gramos
Fosfato monosódico	0.2 gramos
Agua destilada	100 gramos

Este medio se distribuyó en nueve tubos de ensaye con volúmenes exactamente iguales (11 mililitros) y fueron esterilizados para después-inocularles, con la técnica recomendada, los micro-organismos S.c.--4124, S.c. 4110 y S.c.E.L., cada uno de estos repartidos en tres tubos con diferente acidez, con el objeto de cuantear el crecimiento celular después de 48 horas de incubación.

El método empleado para la determinación del crecimiento celular es-

el método de la centrifuga; que consiste en:

1o.- Separar la levadura sólida suspendida en la solución azucarada, - por sedimentación en una centrifuga de alta velocidad a 3500 R.P.M., - durante 20 minutos de operación.

2o.- Decantar el líquido remanente, para posterior determinación de - azúcares residuales.

3o.- Someter a sequedad el sólido húmedo, en estufa a 50°C durante -- treinta minutos y

4o.- Pesar el sólido en estas condiciones.

En la tabla No. 2 y en la gráfica No. 1 se observan los resultados de éste experimento:

Tabla No. 2.-

Cepa	pH 5.35	pH 4.35	pH 3.71	Tiempo incub.	Temp. de incubación
S.c.E.L.	0.1868 g	0.1326 g	0.1783 g	48 hr.	30°C
S.c.4110	0.1874 g	0.1861 g	0.1380 g	48 hr.	30°C
S.c.4124	0.1880 g	0.1880 g	0.1797 g	48 hr.	30°C

EXPERIMENTO No. 3

Este experimento tiene como objetivo determinar la concentración de - azúcares para la cual se produce la mayor cantidad de levadura.

El experimento se efectúa con las tres razas de levadura disponibles - y bajo las mismas condiciones de temperatura y tiempo de incubación - del experimento anterior, modificando solamente el porcentaje de glu- cosa.

Procedimiento:

1o.- Se preparan cinco soluciones con concentraciones variables de -- azúcares de acuerdo con la siguiente tabla:

GRAFICA : Peso de Levadura seca vs pH

Nº 1

Tiempo de incubación = 48 Horas

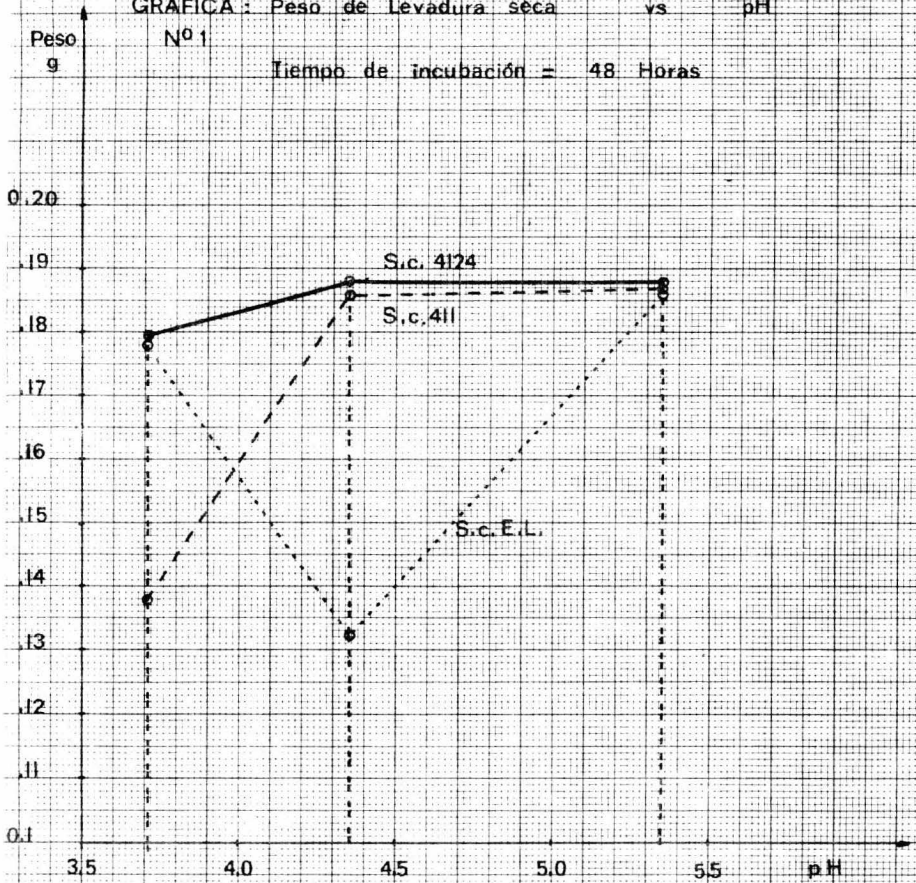


Tabla No. 3.- Características de las soluciones.

Soluciones	Cant. de glucosa o sacarosa	extrac- to de levadura	sulfato de amonio	sulfato monoso- dico	agua - desti- lada	pH
2% glucosa	6	1.5	1.5	0.6	300	7.0
5% glucosa	15	1.5	1.5	0.6	300	7.0
10% glucosa	30	1.5	1.5	0.6	300	7.0
15% glucosa	45	1.5	1.5	0.6	300	7.0
15% sacarosa	45	1.5	1.5	0.6	300	7.0

20.- Cada una de estas soluciones fueron distribuidas en tres matra- ces con volúmenes iguales.

30.- Cada recipiente conteniendo a las soluciones descritas fué som tido a esterilización, en autoclave durante 20 minutos y a 120°C de- temperatura.

40.- Una vez que la temperatura de los matraces es de 28-30°C se ino culan las razas S.c.4124, S.c.4110 y S.c.E.L. en las cinco solucio- nes, dando un total de quince matraces inoculados.

50.- Estos quince matraces se someten a incubación a 30°C y durante- 48 horas; tiempo en el cual se produce una gran cantidad de levadura.

60.- Por el método de centrífuga, explicado antes, se determina el - peso de levadura producida en ese tiempo a distintas concentraciones de azúcares y con las diferentes razas empleadas.

70.- Los resultados son tabulados y graficados (tabla No. 4 y gráfi- ca No. 2):

Tabla No. 4.- Peso de levadura seca obtenida en 48 horas a distin- tas concentraciones de azúcares para las razas S.c. 4124, S.c.4110 y S.c.E.L.

	2 %	5 %	10 %	15 %	15 %
Levadura	glucosa	glucosa	glucosa	glucosa	sacarosa
S.c.4124	2.17	2.63	2.82	2.77	2.79
S.c.4110	1.92	2.35	2.75	2.20	2.56
S.c.E.L.	1.905	2.45	2.63	2.43	2.24

EXPERIMENTO No. 4

"Producción de alcohol etílico"

Este experimento tiene como objetivo determinar cual de las tres razas de levadura disponibles produce una mayor cantidad de alcohol.

Procedimiento:

1o.- Se preparan 1500 ml de solución glucosa al 10% (en peso) con las características del cultivo No. 2

2o.- Esta solución se reparte en tres matraces con volúmenes iguales y sometida a esterilización en las condiciones ya recomendadas (18).

3o.- Mediante la técnica adecuada (19) se sembraron los micro-organismos S.c.4124, S.c.4110 y S.c.E.L. (una raza en cada matraz).

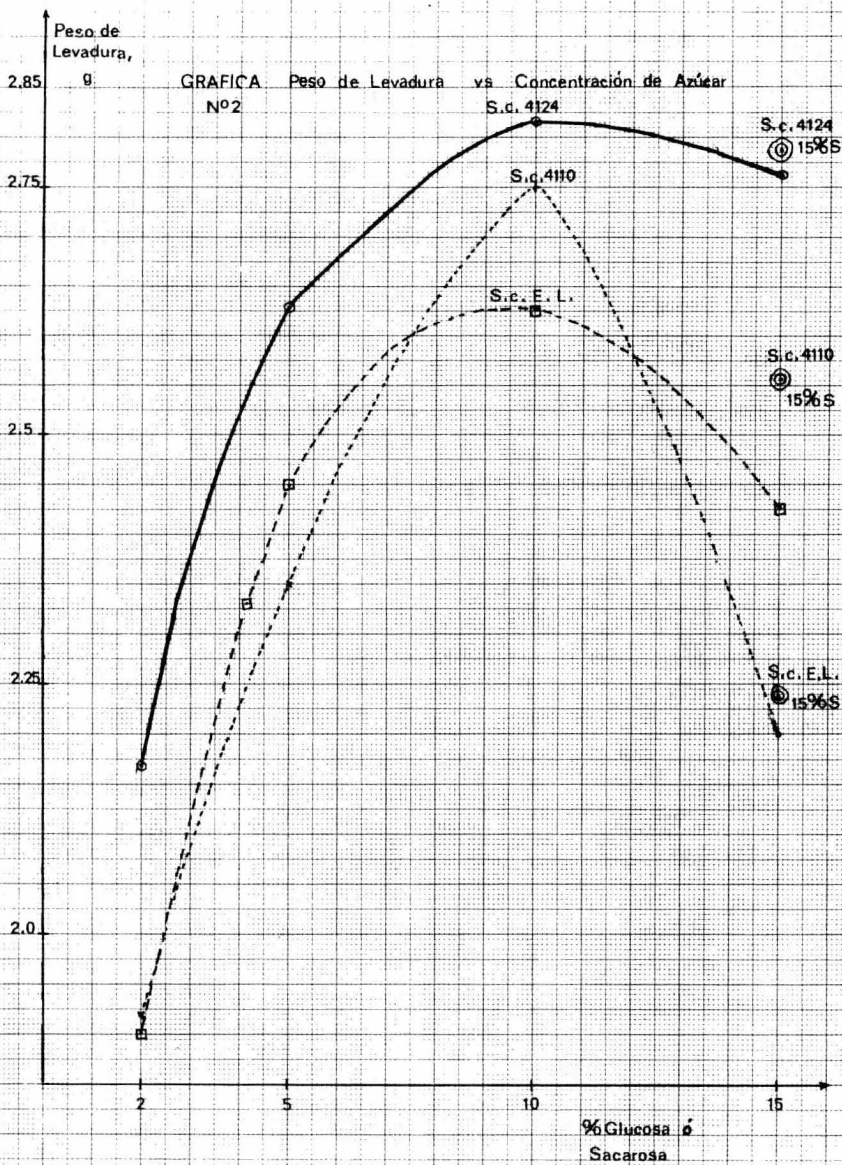
4o.- Se someten a incubación durante 48 horas, a una temperatura de 30°C.

5o.- Durante este tiempo se produce alcohol etílico y su determinación se efectúa por destilación. (Determinación de riqueza alcohólica).

Método

Determinación de la riqueza alcohólica, por destilación:

- i Medir 200 ml del producto fermentado en un matraz cachacero
- ii Verter este líquido en un matraz de 1 litro agregando 150 ml de agua.
- iii Se recolentan 200 ml de la solución destilada en el mismo matraz



cachacero usado para medir el volumen del mosto fermentado.

iv Se determina la riqueza alcohólica a la temperatura de la solución, usando un alcoholómetro con graduación de 0-15° G.L.

v Se corrige la riqueza alcohólica a 15°C (tablas ref.20).

En la tabla No. 5 se muestran los resultados de este experimento.

Tabla No. 5.- Producción de alcohol etílico con diferentes razas de levadura.

Raza de levadura	Volumen destilado <u>ml</u>	Riqueza alcohólica a 24°C <u>°G.L.</u>	Riqueza alcohólica corregida a 15°C. <u>°G.L.</u>
S.c. 4124	200	8.52	7.23
S.c. 4110	200	8.26	6.9
S.c. E.L.	200	7.99	6.73

EXPERIMENTO No. 5

"EFECTO DEL pH EN LA PRODUCCION DE LA LEVADURA S.c. 4124"

El objetivo de este experimento es comparar y determinar el pH para el cual se tiene una mayor reproducción del micro-organismo.

Procedimiento:

1o.- Se preparan 5200 mililitros de solución glucosada al 5% (Medio de cultivo No. 2).

2o.- El volumen anterior se reparte equitativamente en dos matraces a uno de ellos se le adicionaron 0.3 ml., de ácido sulfúrico concentrado, dando un pH=4.3. El contenido del segundo recipiente se mantuvo a pH = 7.0

3o.- El contenido de cada matraz fué repartido en otros 26, unos con pH=4.3 y otros con pH=7.0, dando un total de 52, con 100 ml.c/u.

40.- Estos recipientes se sometieron a esterilización en auto clave - a 120°C y 1.5 Kg/cm² de presión durante 20 minutos.

50.- Las soluciones a temperatura de 28-30°C son inoculadas, con la levadura S.c. 4124 mediante la técnica de asepsia recomendada (21)

60.- Hecha la siembra se someten a incubación en un "cuarto térmico" a 28-30°C

70.- Transcurridas las primeras dos horas se inactivan* dos cultivos: uno con pH 4.5 (antes 4.3) y otro con pH 7.0 Transcurridas las siguientes dos horas, se inactiva un segundo par de las mismas características, y así, sucesivamente hasta acumular un total de 52 cultivos inactivados; los dos primeros tendrán un tiempo de incubación de dos horas, los segundos cuatro, los terceros seis y así hasta llegar al último par que tendrá un tiempo de incubación de 52 horas.

80.- Por el método de la centrifuga, se determina la cantidad (en peso) de levadura producida en los correspondientes tiempos de incubación de cada uno de los 52 recipientes.

90.- A continuación se tabulan y grafican los resultados de este experimento. (Tabla No. 6 y Gráfica No. 3)

Tabla No. 6.- "Peso de levadura seca, obtenida en el Medio de cultivo No. 2 con 5 % de glucosa, a diferentes tiempos de incubación".

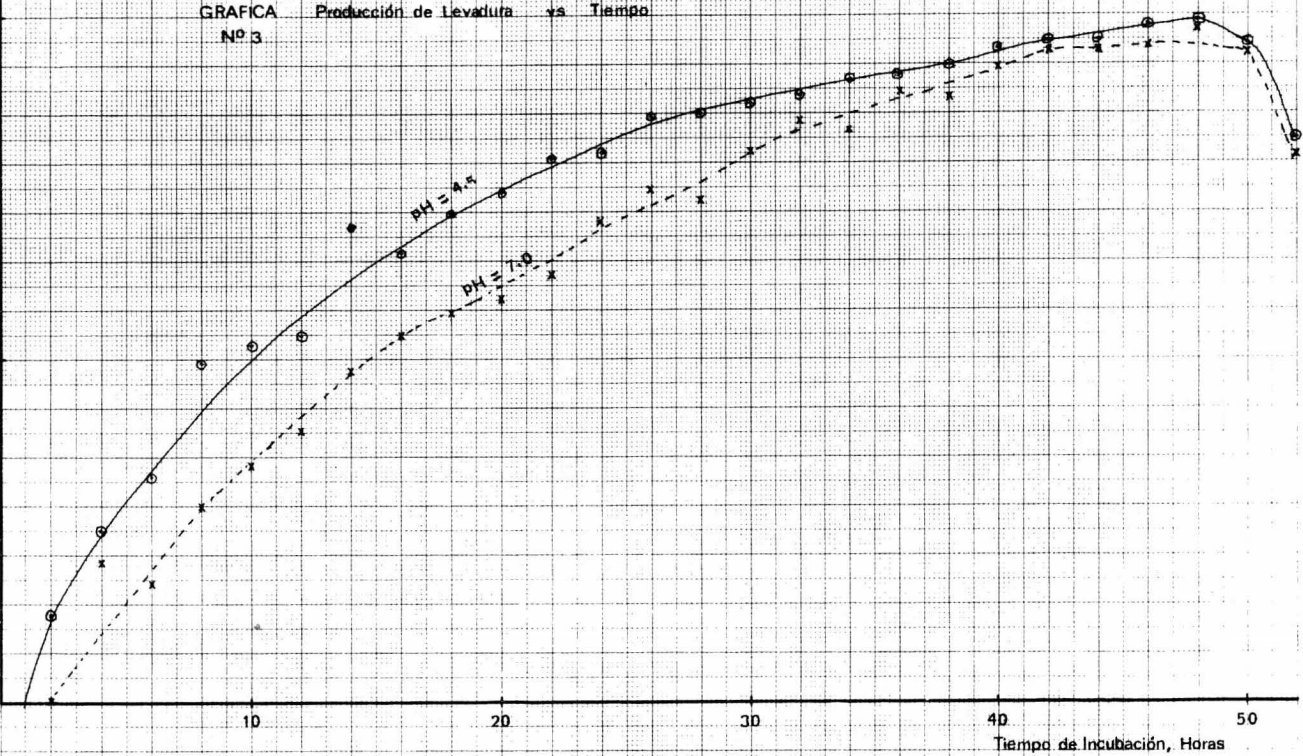
Matraz No.	Tiempo de incubación, hr.	pH 4.5	pH 7.0
1 y 1'	2	1.252 g.	0.990 g.
2 y 2'	4	1.512 "	1.405 "
3 y 3'	6	1.651 "	1.305 "
4 y 4'	8	1.982 "	1.575 "

Continúa tabla No. 6.-

Matraz No.	Tiempo de incu- bación, hr.	pH 4.5		pH 7.0	
5 y 5'	10	2.031	g.	1.723	g.
6 y 6'	12	2.072	"	1.800	"
7 y 7'	14	2.372	"	1.952	"
8 y 8'	16	2.325	"	2.025	"
9 y 9'	18	2.441	"	2.100	"
10 y 10'	20	2.475	"	2.178	"
11 y 11'	22	2.583	"	2.250	"
12 y 12'	24	2.608	"	2.400	"
13 y 13'	26	2.700	"	2.501	"
14 y 14'	28	2.712	"	2.475	"
15 y 15'	30	2.745	"	2.602	"
16 y 16'	32	2.778	"	2.705	"
17 y 17'	34	2.813	"	2.672	"
18 y 18'	36	2.836	"	2.778	"
19 y 19'	38	2.850	"	2.770	"
20 y 20'	40	2.894	"	2.850	"
21 y 21'	42	2.912	"	2.902	"
22 y 22'	44	2.925	"	2.920	"
23 y 23'	46	2.960	"	2.961	"
24 y 24'	48	2.975	"	2.973	"
25 y 25'	50	2.910	"	2.904	"
26 y 26'	52	2.623	"	2.604	"

Peso de Levadura, gramos

GRAFICA Producción de Levadura vs Tiempo Nº 3



Tiempo de Incubación, Horas

* La inactivación de la levadura se logra sometiendo al cultivo a una temperatura de 0°C; en estas condiciones el crecimiento celular es prácticamente nulo.

CRITERIO DE SELECCION

En el experimento No. 2 se observa que la raza de levadura de mayor velocidad de reproducción es la S.c.4124 a los distintos pH experimentados. En segundo término se encuentra la levadura S.c. 4110, y por último la levadura S.c. E.L. (Gráfica No. 1).

En el experimento No. 3 la levadura de mayor reproducción fué la S.c. 4124, para las diferentes concentraciones de glucosa, (Gráfica No. 2).

En el experimento No. 4 se observa la producción alcohólica, obteniéndose una mayor cantidad con la levadura S.c. 4124; el experimento se realizó a pH 7.0 . Se usó un medio azucarado con una concentración de 10 % de glucosa, en virtud de que a esta se obtiene una mayor cantidad de microorganismos (experimento No. 2)

De los experimentos Nos. 2, 3 y 4, se deduce que la raza de levadura más adecuada para la producción alcohólica es S.c. 4124 En el experimento No. 5 se usó el micro-organismo seleccionado (S.c. 4124) para su reproducción en medios de cultivo con pH diferentes. El objetivo fué comparar su crecimiento y determinar las condiciones óptimas de acidez, resultando que el pH 4.5 es el más adecuado.

EXPERIMENTO No. 6

El objetivo de éste experimento es reproducir, la levadura seleccionada (S.c. 4124) para usarla posteriormente en la planta piloto.

La planta requiere de una cantidad aproximada de un litro de suspen-

ción de levadura, en plena actividad.

Para la reproducción se cuenta con el cultivo de la levadura pura - suspendida en 10 ml. de medio de cultivo.

Sin embargo la cantidad de micro-organismos contenidos en este volumen es muy pequeña por lo que, su reproducción es necesaria llevándose a cabo de acuerdo con el procedimiento.

1o.- Teniendo la cepa pura de S.c. 4124 se verifica su pureza en el experimento No. 1.

2o.- Se preparan 100 ml. de medio número 2, con la cantidad de glucosa y nutrientes recomendados; adicionando ácido sulfúrico concentrado, hasta que su pH = 4.5 .

3o.- Se somete a esterilización este medio y se enfría hasta 28-30°C

4o.- Se siembra la cepa en el matraz con la técnica ya mencionada.

5o.- Estos micro-organismos se incuban durante 24-26 hr. en el cuarto térmico a 30°C y con agitación; este tiempo es adecuado, ya que el crecimiento celular se encuentra en la etapa de máxima actividad (zona de crecimiento logarítmica, gráfica No. 3.)

6o.- Simultáneamente a la incubación (paso 5°), se preparan aproximadamente 1000 ml, del medio No. 2 con las características de acidez y esterilidad idénticas a la anterior: Esto se consigue:

a) Adicionando ácido sulfúrico concentrado y

b) Mediante el uso de autoclave durante 20 minutos a 120°C. y 1.5.- Kg./cm.² de presión.

7o.- Tanto la solución preparada (1 litro), como la levadura en plena actividad (100 ml). Se mezclan dando como resultado un volumen - de 1.1 l. con una actividad muy baja.

8o.- Esta mezcla se somete a incubación, en el cuarto térmico (a 30° C.) llevándose a cabo un nuevo aumento en la actividad.

9o.- El tiempo de incubación adecuada fué de 24-26 hrs. teniendo en este un máximo crecimiento de acuerdo con el experimento No. 5.

10o.- Una vez que, el volúmen contenido en este recipiente se encuentra en su máxima actividad, se encuentra listo para usarse como piedra cuba en el tanque de levadura madre (T.L.D. 2) de la planta piloto.

Nota.- El número de células que se encuentran en el cultivo son: - - 1500-2000 x 10⁶ células/ml. El método usado para esta determinación es: "De la cámara de Neubauer" (22)

2o.- FASE PLANTA PILOTO:

Objetivo.- Establecer las condiciones de operación óptimas para producir alcohol etílico por fermentación de azúcares.

En el proceso se emplea como materia prima piloncillo, agua, sales que contengan en su molécula fósforo y nitrógeno (nutrientes) y ácido sulfúrico. Y la levadura *Saccharomyces cerevisiae* 4124 como elemento indispensable, para la fermentación. (ver esquema No. 2).

La experimentación se desarrolla en varias etapas:

1a.- Producción de levadura.

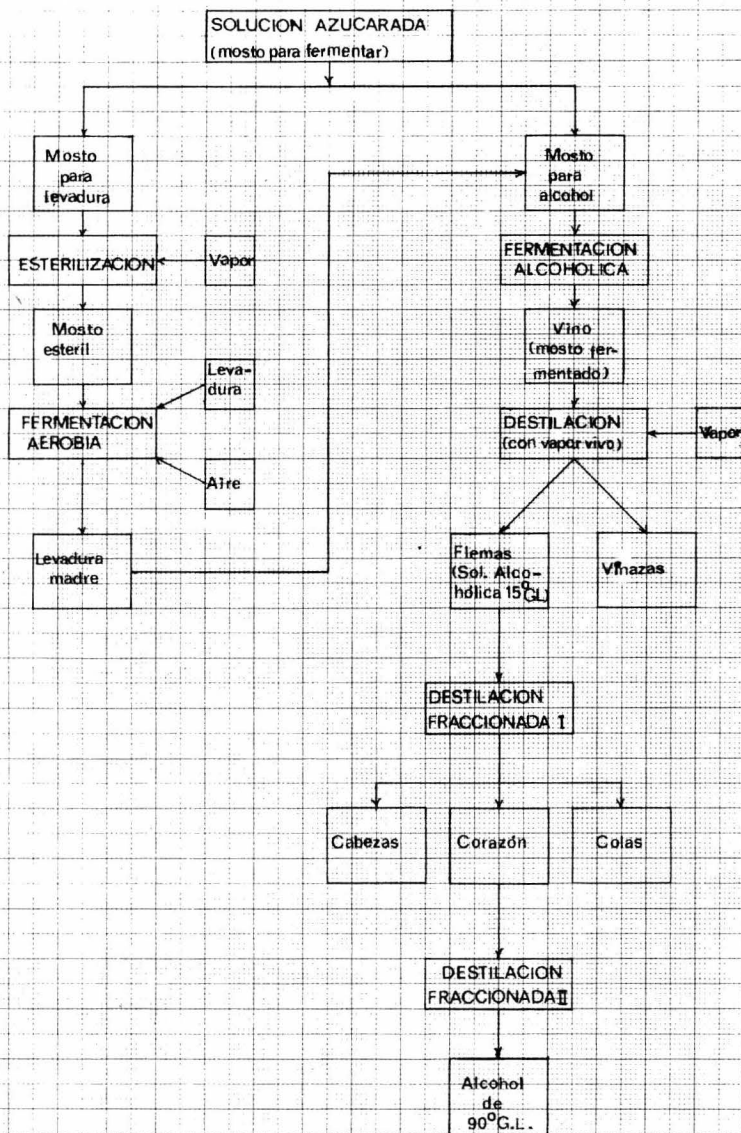
2a.- Producción de alcohol.

3a.- Purificación del alcohol por destilación.

EXPERIMENTO No. 1

"PRODUCCION DE LEVADURA MADRE"

Objetivo.- Reproducir la levadura obtenida en el laboratorio de Mi-



Esquema N° 2

crobiología.

Procedimiento:

1o.- Se preparan en (T.P. 1) aproximadamente 10 litros de solución azucarada, con las características del medio de cultivo empleado en la primera fase, usando como fuente de azúcares el piloncillo con las proporciones siguientes:

Piloncillo	2.4	Kg
Sulfato de amonio	0.5	"
Fosfato monosódico	0.2	"
Agua destilada	8	Litros
Acido sulfúrico	1.2	mililitros

2o.- Se disuelven el piloncillo y las sales, en el agua, agitando con aire y calentando con vapor directo.

3o.- Se esteriliza la solución en (T.L.D.2) a 1.5 Kg/cm^2 y 120°C , suministrando vapor directo durante 20 minutos. Esto hace que se incremente el volumen pasando de un volumen de 8 a 10 litros aproximadamente y alterando su concentración de 23°Bx a 15°Bx .

4o.- Se enfría la solución, pasando agua por el serpentín interior del tanque de levadura.

5o.- Se inocula 1 litro de levadura con la técnica siguiente:

- Se quita el tapón superior del tanque, teniendo un mechero encendido cerca de la boca del mismo.

- Se vierte el contenido del matraz de levadura con ayuda de un embudo; teniendo el mechero cerca del líquido que se está inoculando.

- Se tapa el recipiente.

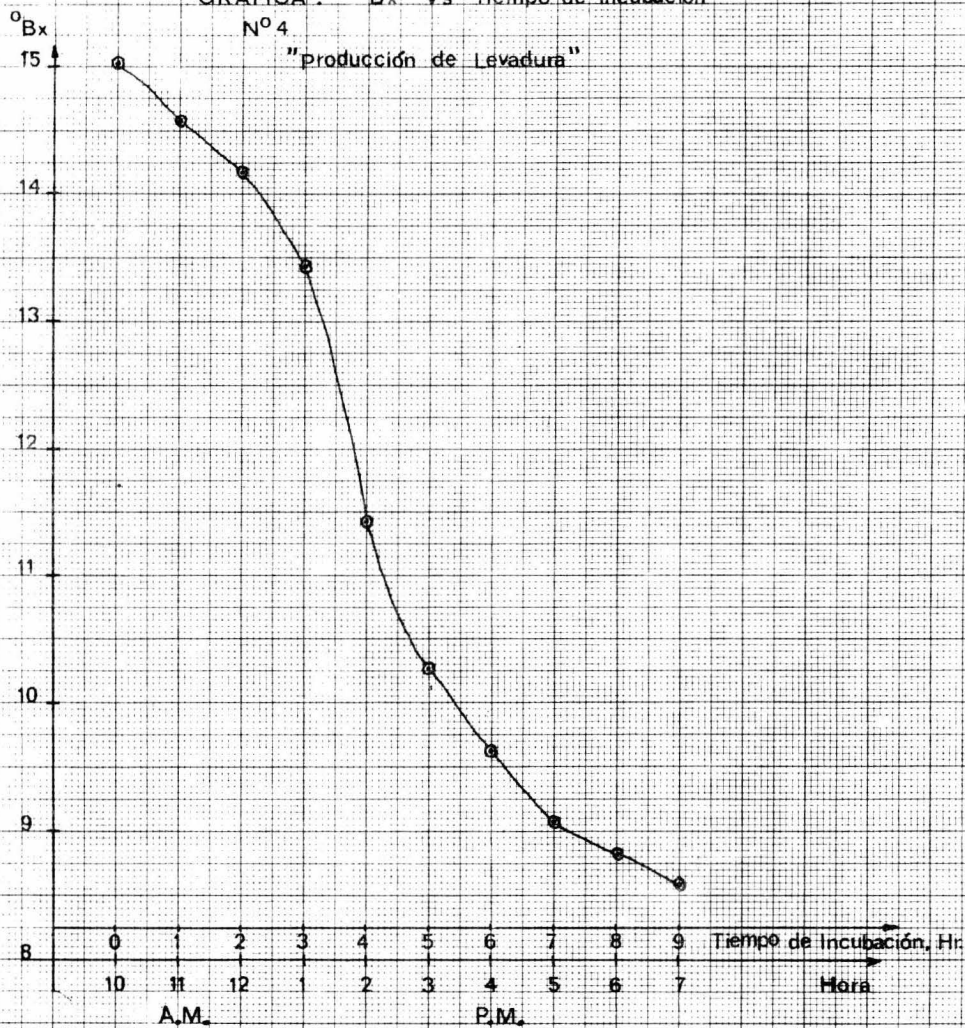
6o.- Se mete una corriente continua de aire estéril a un flujo de --
15 l/min.

7o.- Durante la aireación, se produce una gran cantidad de espuma, -
por lo que ocasionalmente se adicionan unas gotas de aceite de soya-
como antiespumante; se pueden usar otros como: alcoholes superiores-
(Geraniol 130).

8o.- Se lleva un control estricto de la temperatura, pH, °Bx, con --
respecto al tiempo; anotando los datos en la Hoja de Control No. 1 y
Gráfica No. 4.

Como se ha observado en los experimentos anteriores, el pH y temperat
tura más adecuados son: 4.5 y 30°C respectivamente.

GRAFICA: $^{\circ}\text{Bx}$ vs Tiempo de Incubación
 N° 4
 "producción de Levadura"



HOJA DE CONTROL No. 1

" PRODUCCION DE LEVADURA "

Volumen de solución: _____ litros.

Fecha: _____

HORA	pH	°Bx	Temperatura °C	°Bx/20°C	Células/ml	OBSERVACIONES
------	----	-----	-------------------	----------	------------	---------------

EXPERIMENTO No. 2

" PRODUCCION DE ALCOHOL"

Objetivo.- Producir alcohol empleando como materia prima piloncillo y la levadura producida en el experimento anterior.

Procedimiento:

1o.- Se preparan en (T.P.1) 90 litros de solución azucarada, usando como agitador aire comprimido a una presión de 0.5 Kg/cm^2 y vapor de calentamiento directo a 0.2 Kg/cm^2 , con esto se consigue tener una solución homogénea y a 30°C de temperatura.

2o.- El mosto preparado se alimenta por lotes al tanque (T.F.3). El primer lote es de aproximadamente 30 litros al cual se le agregan 10 litros de levadura en suspensión. Durante la fermentación el contenido de azúcares disminuye transformándose a dióxido de carbono y alcohol etílico, por lo que se hace necesaria la alimentación de un segundo lote de 30 litros de mosto; nuevamente la actividad microbiológica aumenta, logrando el efecto anterior, por lo que es necesaria la alimentación de un tercer lote de 30 litros de mosto. El volumen total de producto fermentado es de aproximadamente 100 litros; durante la fermentación se anotan los cambios en la concentración de azúcares, el pH, la temperatura, la contaminación del medio (si la hay), y la producción alcohólica, usando la Hoja de Control No. 2 y la gráfica No. 5.

Las características del mosto son:

- 20 Kg. de piloncillo
- 0.45 Kg. de sulfato de amonio
- 0.18 Kg. de fosfato monosódico

20 ml. de Acido sulfúrico conc.

90 litros de agua destilada.

Esta solución tiene características de acidez $\text{pH}=4.5$ y una concentración de azúcares de 23°Bx . a una temperatura de 30°C , además de contener cantidades suficientes de Nitrógeno y fósforo para la reproducción Microbiológica.

Las características de la levadura son:

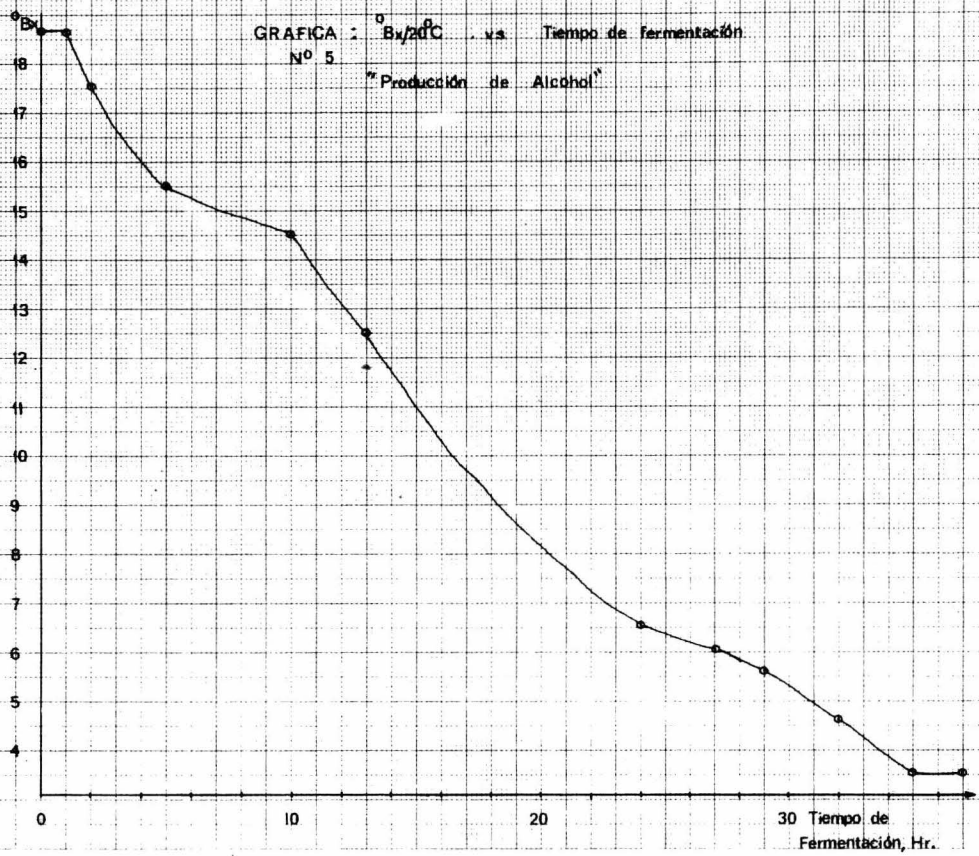
El contenido de azucares es relativamente bajo ($8^\circ\text{Bx}/29^\circ\text{C}$) el número de micro-organismos es del orden de 1500-2000 millones de células por mililitro de solución; el $\text{pH}=4.5$

En estas condiciones el mosto y la levadura se encuentran en las mejores condiciones para la fermentación alcohólica. La fermentación alcohólica se lleva a cabo en forma anaerobia, no así la producción de levadura que es aerobia.

El método empleado para la determinación del número de células contenidas en la solución es el de la "Cámara de Neubauer" (23).

Durante la fermentación se verificó también la presencia de nitrógeno en el medio: tomando una pequeña muestra de solución, agregándole cantidades pequeñas de sosa, hasta tener un pH básico. Se calienta esta solución hasta evaporación. Durante la evaporación se introduce un papel indicador (tornasol rojo) en los vapores. Si el indicador cambia a color azul, significa la presencia de vapores amoniacales.

GRAFICA : $^{\circ}\text{Bx/20}^{\circ}\text{C}$ vs. Tiempo de fermentación
Nº 5
"Producción de Alcohol"



HOJA DE CONTROL No. 2

" PRODUCCION DE ALCOHOL "

Fecha de inicio: _____ Fecha de terminación _____ Tiempo de ferm: _____

HORA	pH	°Bx	Temp.	°Bx/20°C	R.A.	Temp. R.A.	R.A.a 15°C	OBSERVACIONES
------	----	-----	-------	----------	------	------------	------------	---------------

"DETERMINACION DE LA RIQUEZA ALCOHOLICA DE LOS MOSTOS FERMENTADOS —
(VINOS) ".

Objetivo.- Determinar el contenido de alcohol etílico en los vinos.

Método.- Por destilación y medición directa con alcohómetros de Gay-Lussac.

Procedimiento:

- 1.- Se miden 200 ml. del vino en un matraz cachacero graduado y se vierten en el matraz de destilación(Fig. 14)
- 2.- Se adicionan 150 ml. de agua destilada, haciendo un total de 350 ml. de solución alcohólica.
- 3.- Se procede a destilar la mezcla lentamente con ayuda de una parrilla eléctrica.
- 4.- Los vapores alcohólicos son condensados en un refrigerante conectado al matraz.
- 5.- El dispositivo se adapta de tal manera que los vapores procedentes de la destilación sean condensados en su totalidad. Con este fin se instala una alargadera desde el condensador hasta la superficie inferior del cachacero, al cual previamente se le ha puesto una pequeña cantidad de agua (0.5 ml.): además de introducirlo en un vaso de precipitados conteniendo agua fría.
- 6.- Se destila un volumen de 200 ml. midiendolos en el matraz cachacero usado en el inciso 1.
- 7.- El destilado se vierte en una probeta y se agita hasta lograr una mezcla homogénea.
- 8.- Se determina la concentración alcohólica usando un alcohómetro de 0.15°G.L., midiendo la temperatura de la solución.

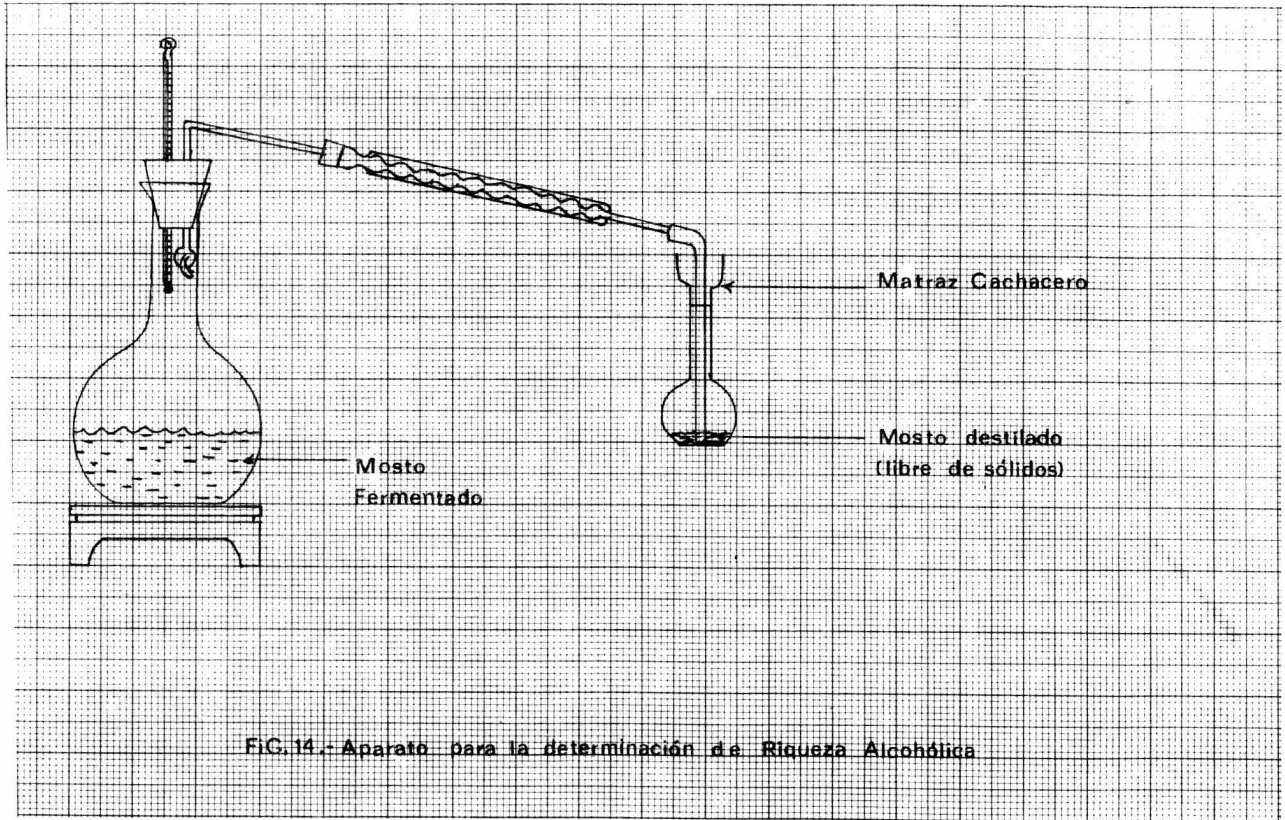


FIG. 14.- Aparato para la determinación de Riqueza Alcohólica

9.- Se corrige la riqueza alcohólica a 15°C, usando las Tablas I y - II del apéndice A.

EXPERIMENTO No. 3

" PURIFICACION DEL ETANOL "

Objetivo.- Concentrar el alcohol producido en el Experimento No. 2. El producto obtenido de la fermentación alcohólica, es un líquido de color café claro, de olor agradable llamado vino, con un contenido de alcohol de 6-9°G.L.

Para obtener alcohol de alto grado (90°G.L.), es necesario purificarlo y concentrarlo, esto se lleva a cabo en las siguientes etapas:

- 1) Destilación con vapor directo
- 2) Primera destilación en el alambique
- 3) Segunda destilación en el alambique

1a. Etapa:

Del tanque de almacenamiento (T.V. 4) que contiene 100 litros aproximadamente de vino con 8-9% de alcohol en volumen, se pasan al (T.L.D. 2), (que funciona como columna "destrozadora") lotes de 20 litros. A dicho tanque se alimenta vapor de servicio con una presión de 0.3 Kg/cm² (man.), los vapores que salen de (T.L.D.2) pasan a través de una sección empacada (T.E. 1) donde se concentra la solución, como consecuencia del reflujo existente en la columna, los vapores pasan a un condensador (C.1), el líquido condensado que recibe el nombre industrial de flemas, se almacena en el tanque (T.F. 5) que tiene una concentración de 18°G.L. a 21°C, conteniendo además impurezas más ligeras que el alcohol.

En el (T.L.D.2) quedan como residuo, las vinazas, que contienen pro-

ductos de menor volatilidad que el agua, como alcoholes superiores, algunos aldehídos y esterés que se produjeron durante la fermentación. Estas vinazas se tiran al drenaje.

Se repite el proceso hasta agotar los 100 litros de vino del tanque - (T.V. 4).

2a. Etapa:

Del tanque de almacenamiento (T.F.5) que contiene 50 litros de flemas aproximadamente con 16-18 % de alcohol (en volumen) se pasan en lotes de 15 litros a (T.F. 1) en esta columna se lleva a cabo una destilación fraccionada, obteniéndose las siguientes fracciones: cabezas, — corazón y colas.

En la fracción cabezas, se obtienen: productos más volátiles que el — alcohol, alcohol y agua en baja proporción.

En la fracción llamada corazón se obtienen alcohol y agua, así como — trazas de impurezas.

En la torre de fraccionamiento (T.R.2) queda como residuo la fracción denominada colas que contiene principalmente agua, aceite de fusel, impurezas menos volátiles que el agua y alcohol etílico en baja proporción, por lo que se almacena para destilarlo posteriormente, con los residuos de otras destilaciones.

El volumen de cada fracción se hizo por medición directa.

Las concentraciones de las diferentes fracciones se analizaron en un cromatografo (vapor Fractometer Perkin-Elmer 154 L).


CAPITULO III

EQUIPO PILOTO PARA LA PRODUCCION DE ALCOHOL.

Para la instalación del equipo se tomó como base la capacidad del alambique con que contaba el Laboratorio de Ingeniería Química, que es de aproximadamente veinte litros por lote. Otra consideración importante para la determinación del tamaño del equipo fué: el rendimiento alcohólico de la fermentación, que es, de 8-9% (en volumen). La instalación del equipo se realizó de acuerdo con el proceso de fabricación de etanol por el método de fermentación (diagrama # 1), que se realizó en las etapas siguientes:

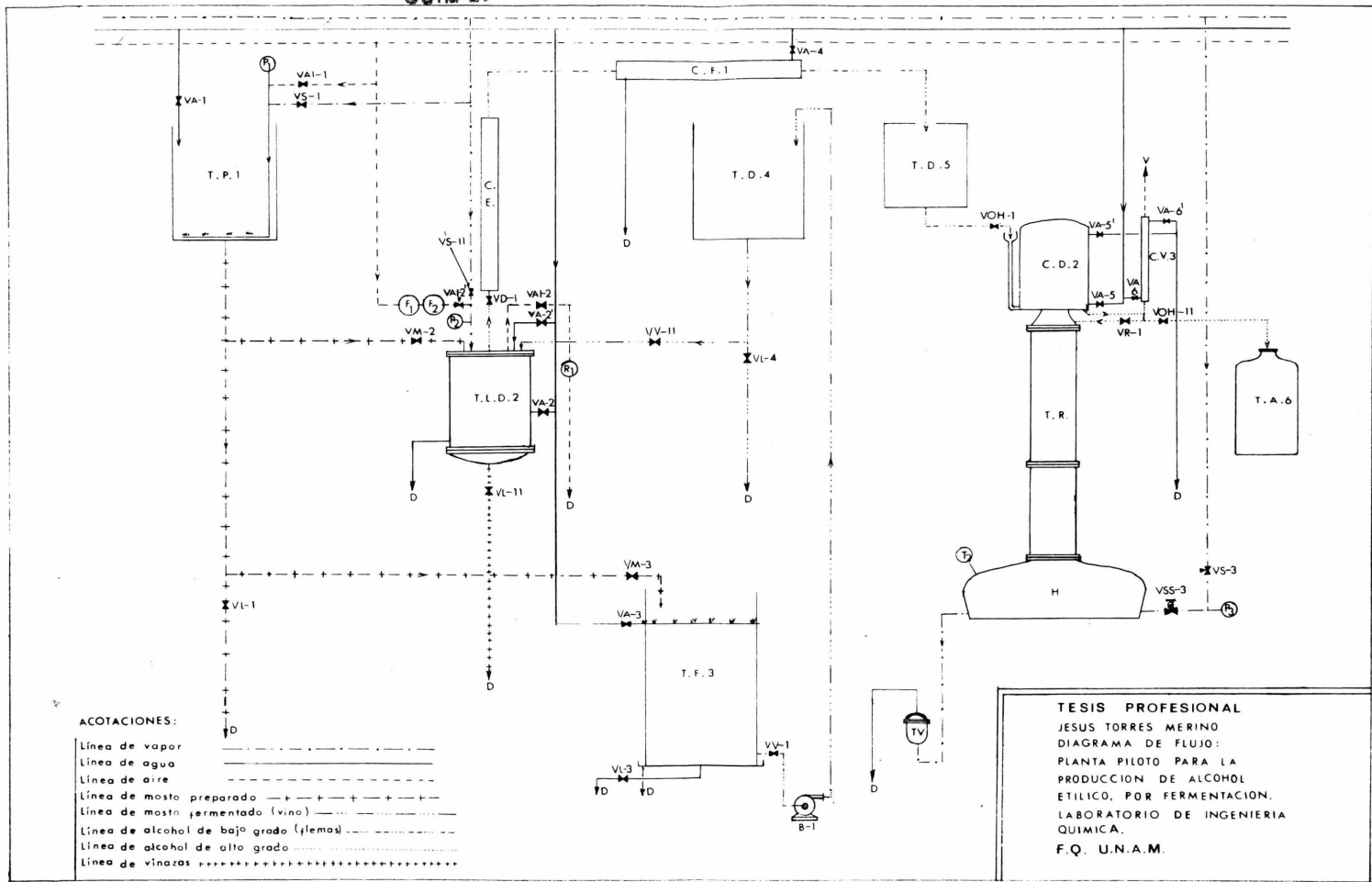
I. PREPARACION DE MATERIA PRIMA.- La preparación de la materia prima consiste en disolver el azúcar contenido en piloncillo o melaza, en agua hasta que la concentración sea de alrededor de 20 % en peso de azúcares, adición de sustancias nutrientes y la acidez recomendada (12).

Para la preparación de esta materia prima se requiere un tanque, dotado de sistema de calentamiento, de alimentación de agua, de sistema de agitación y con características anticorrosivas. Con este fin se instaló un tanque de las siguientes características:

 Tanque de preparación (Fig. 9):	T. P. 1
Material de construcción:	Lámina de fierro con recubrimiento anticorrosivo.
Espesor de la lámina:	0.238 cm.
Diámetro:	58 cm.
Altura:	62 cm.
Capacidad:	163 litros.



QUIMICA



ACOTACIONES:

- Línea de vapor
- Línea de agua
- Línea de aire
- Línea de mosto preparado
- Línea de mosto fermentado (vino)
- Línea de alcohol de bajo grado (flemas)
- Línea de alcohol de alto grado
- Línea de vinazas

TESIS PROFESIONAL
 JESUS TORRES MERINO
 DIAGRAMA DE FLUJO:
 PLANTA PILOTO PARA LA
 PRODUCCION DE ALCOHOL
 ETILICO, POR FERMENTACION.
 LABORATORIO DE INGENIERIA
 QUIMICA.
 F.Q. U.N.A.M.

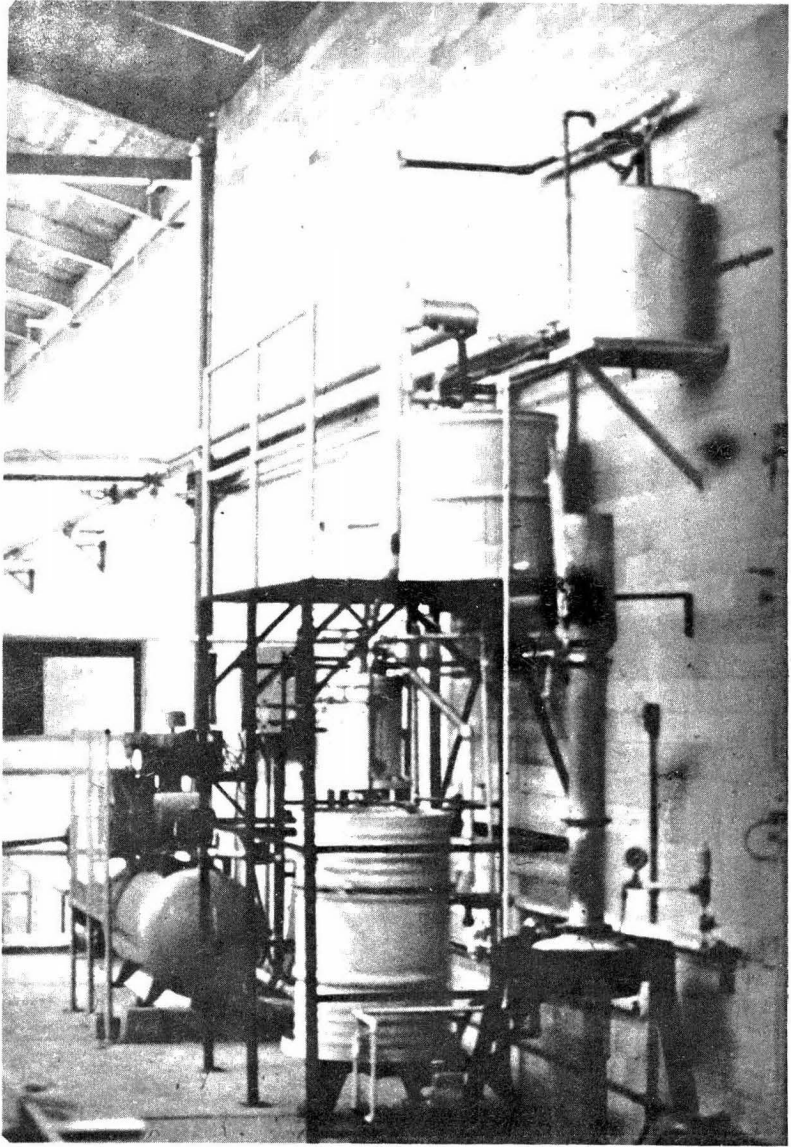


Figura 9.

S
E
R
V
I
C
I
O
S

Agua: Tubería de fierro galvanizada, de 1.27 cm. (1/2 - pulg.) de diámetro (nominal), Ced. 40.

Aire y vapor: Tubería de acero inoxidable 316 de 0.95 cm (3/8 pulg.) de diámetro (nominal).

Fluido de proceso.- Solución acuosa de azúcares:

Tubería de fierro negro de 1.27 cm. (1/2 --- pulg.) de diámetro (nominal).

II.- ⁴PRODUCCION DE LEVADURA MADRE.- Para que la fermentación se efectúe en el menor tiempo posible se requiere de una determinada cantidad de levadura (13). La cantidad de levadura dependerá del volumen de mosto a fermentar, y en general se recomienda (14) --- que sea de aproximadamente la décima parte del volumen de mosto, lo cual da resultados óptimos.

Para producir levadura se requiere de:

Mosto de una concentración aproximada del 15 % (en peso) de azúcares y con los reactivos ya mencionados. El mosto para levadura debe ser esterilizado y tener una temperatura de 28-30°C para que el crecimiento celular sea óptimo. El microorganismo puede provenir de levadura en suspensión o levadura seca de panificación, el cual se inocula una vez que el mosto se encuentra en las condiciones adecuadas de esterilidad, acidez y concentración de azúcares.

Para producir la levadura en estas condiciones se instaló un recipiente con las características siguientes:

Tanque de levadura: FIG. (10) T.L.D. 2

Material de construcción: Lámina de cobre

Espesor de lámina: 0.238 cm/(3/32 pulg).

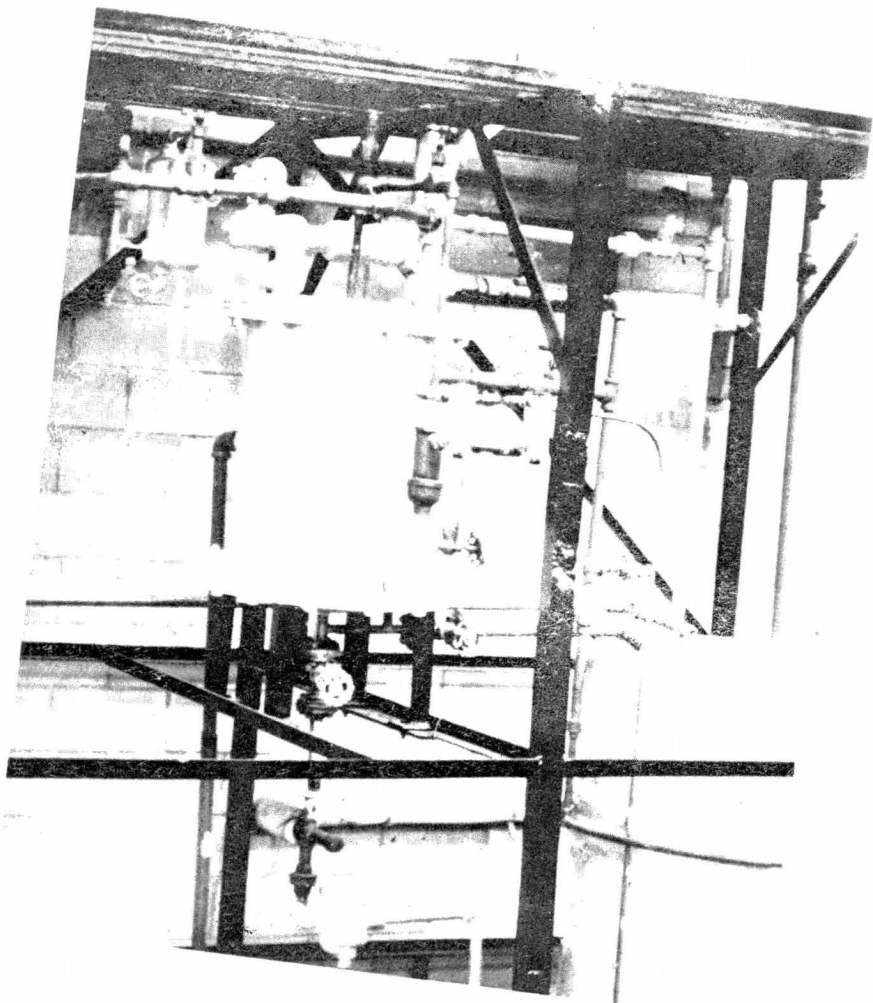


Figura 10.

Diámetro: 30 cm.
Altura: 40 cm.
Capacidad: 28 litros

Servicios disponibles:

Agua: Tubería de fierro galvanizada, de 0.95 cm (3/8 pulg.) de diámetro nominal, ced. 40.

Aire y agua: Tubería de acero inoxidable 316 de 0.95 cm — (3/8 pulg.) de diámetro nominal, cédula 40.

Fluido de proceso: Mosto, tubería de fierro negro de 1.27 cm (1/2 pulg.) de diámetro (nominal), cédula 40

4

III.- FERMENTACION ALCOHOLICA.- La fermentación alcohólica se efectúa en un tanque abierto, alimentado con mosto preparado y levadura madre. Durante la fermentación se desprenden cantidades considerables de calor (15) por lo que es necesario refrigerar este recipiente. La refrigeración se lleva a cabo haciendo descender una película de agua fría por su superficie lateral; esta se consigue por medio de un anillo con perforaciones por el cual circula agua.

Las características de este recipiente son:

7 Tanque de fermentación: T.F. 3

Material de construcción: Lámina de fierro con recubrimiento anticorrosivo.

Espesor de la lámina: 0.238 cm (3/32 pulg.)

Diámetro: 58 cm.

Altura: 86 cm.

Capacidad: 227 litros

Características del anillo de refrigeración:

Material de construcción: Cobre
Diámetro: 66 cm.
Perímetro: 210 cm.
Diámetro del tubo: 1.27 cm (1/2 pulg.)
Número de orificios: 40
Diámetro del orificio: 0.238 cm. (3/32 pulg.)

Servicios disponibles:

Agua: Tubería de fierro galvanizada de-
1.27 cm. (1/2 pulg.) de diámetro-
(nominal) cédula 40.

Fluido de proceso:

Mosto: Tubería de fierro negro de 1.27 -
cm. (1/2 pulg.) de diámetro (nomi-
nal) cédula 40.

Levadura: Tubería de fierro negro de 1.27 -
cm. (1/2 pulg.) de diámetro (nomi-
nal).

1
IV.- DESTILACION CON VAPOR DIRECTO.- Una vez que la fermenta-
ción ha concluído, el producto producido (vino) se bombea (con la
bomba B-1) hacia el tanque de almacenamiento T.V. 4 ,de donde se lle-
va a la "columna destrozadora" por gravedad, para destilarse con va-
por directo. Las características del tanque de almacenamiento, de la
bomba de alimentación, de la "columna destrozadora" y del condensa-
dor son:

1.- Tanque de almacenamiento de mosto fermentado (vino):

T. V. 4

Material de construcción: Lámina de fierro con recubrimien-
to anticorrosivo.
Espesor de la lámina: 0.238 cm. (3/32 pulg.)
Diámetro: 58 cm.
Altura: 62 cm.
Capacidad: 163 litros.

2.- Bomba de alimentación: B-1

Bomba: Rotativa de engranes
Diámetro de la succión: 1.27 cm. (1/2 pulg.) de diámetro-
(nominal).
Diámetro de la descarga: 1.27 cm. (1/2 pulg.) de diámetro-
(nominal).
Motor: Monofásico de corriente alterna -
de 125 volts.
Ciclos: 50
R. P. M. 1425
Amperaje: 7.4
Transmisión a bomba: Bridas de 6.35 cm. con empaque --
de hule.

1

3.- Columna "destrozadora".- La columna "destrozadora" está -
constituida por el tanque: T.L.D. 2, alimentado con vino
proveniente de T.V. 4. La destilación se efectúa introdu-
ciendo vapor directo al vino hasta que los vapores as-
cienden por ebullición encontrándose con una columna em-
pacada con esferas de vidrio, de tal forma que se tiene-
una purificación relativa del destilado.

Las características del tanque T.L.D. 2 se describieron antes.

Las características de la columna empacada son:

Diámetro: 2.54 cm (1 pulg.) de diámetro (nominal)
Altura: 1.50 metros.
Altura del empaque: 1.35 metros.

Características del empaque:

Diámetro de las esferas: 1.2 cm.
Número de esferas: 150
Porosidad: 73 %
Superficie específica: $1.1 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$

Características del condensador:

Cambiador: 1 . 1
Coraza: De fierro galvanizado, cédula 40
Diámetro: 5.08 cm. (2 pulg.) de diámetro (nominal)
Longitud: 80 cm.
Tubos: Un sólo tubo de cobre
Diámetro: 3.17 cm. (1 1/4 pulg.) (nominal)
Cédula: 40
Agua de refrigeración: Tubería de entrada y salida de 1.27 -
cm(1/2 pulg.) de diámetro (nominal) -
de fierro galvanizado, cédula 40.

↑

V.- DESTILACION FRACCIONADA (RECTIFICACION).- Una vez que la destilación con vapor directo ha concluido y que la solución alcohólica se ha recolectado en el tanque de almacenamiento de flemas (T.D. 5) se procede a la purificación de las mismas utilizando la columna de — platos de las características siguientes:

La columna de rectificación (fig.11) está constituida por:

- 1.- Un hervidor con serpentín de calentamiento.
- 2.- Dos secciones cilíndricas con platos perforados.
- 3.- Un condensador de superficie vertical.
- 4.- Tanque de almacenamiento de flemas (producto a destilar)
- 5.- Tanque de almacenamiento de alcohol rectificado (frasco)
- 6.- Condensador de vidrio conectado en la descarga del condensador metálico.

Descripción:

Hervidor:

Diámetro: 38 cm.

Altura: 20 cm.

Capacidad: 22 litros.

Material de construcción: Lámina de cobre de 0.238 cm.

Serpentín de calentamiento:

Tubería de cobre de 0.79 cm (5/16 pulg.)

Longitud: 10 metros

Superficie de calentamiento: 2481 cm².

↓ La columna está constituida por dos secciones cilíndricas con platos perforados la inferior y con platos perforados baffleados la superior (Figs. 12 y 13) sus dimensiones son:

Sección Inferior:

Diámetro: 12 cm.

Altura: 33.5 cm.

No. de platos: 13

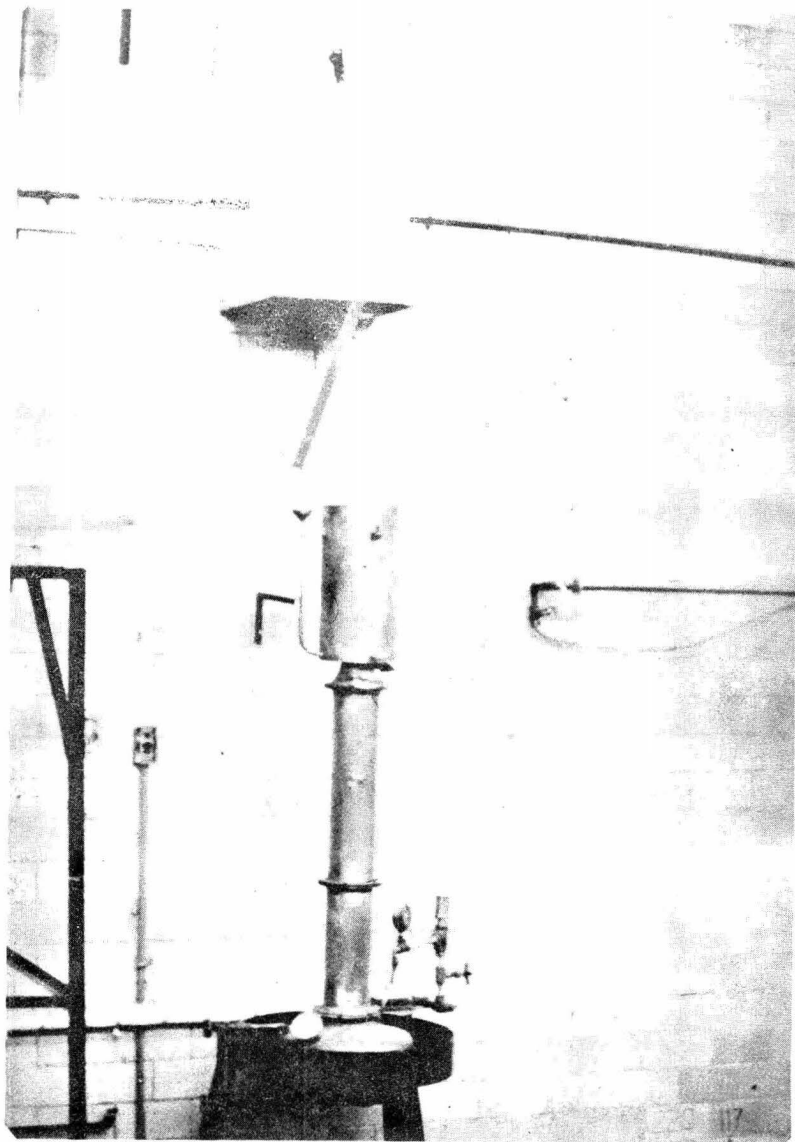


Figura II

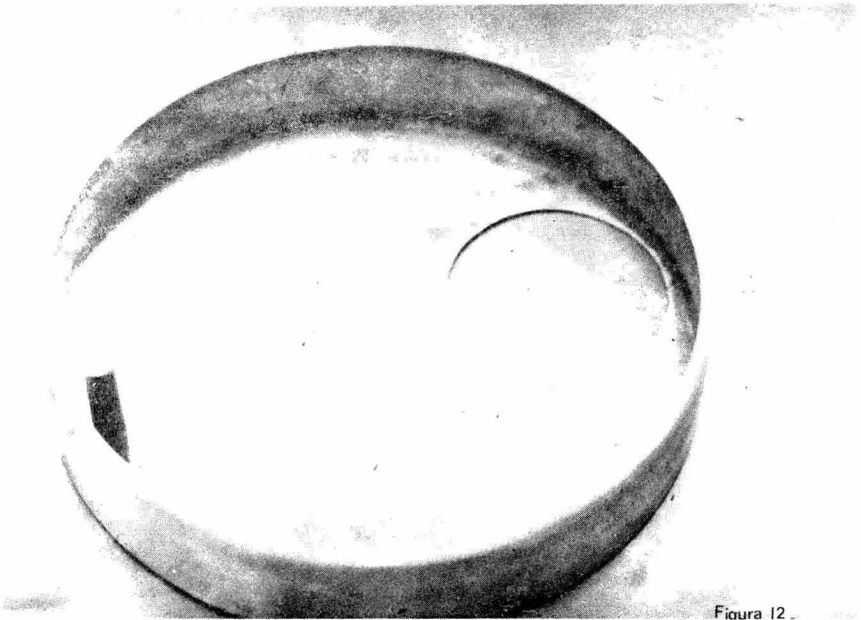


Figura 12

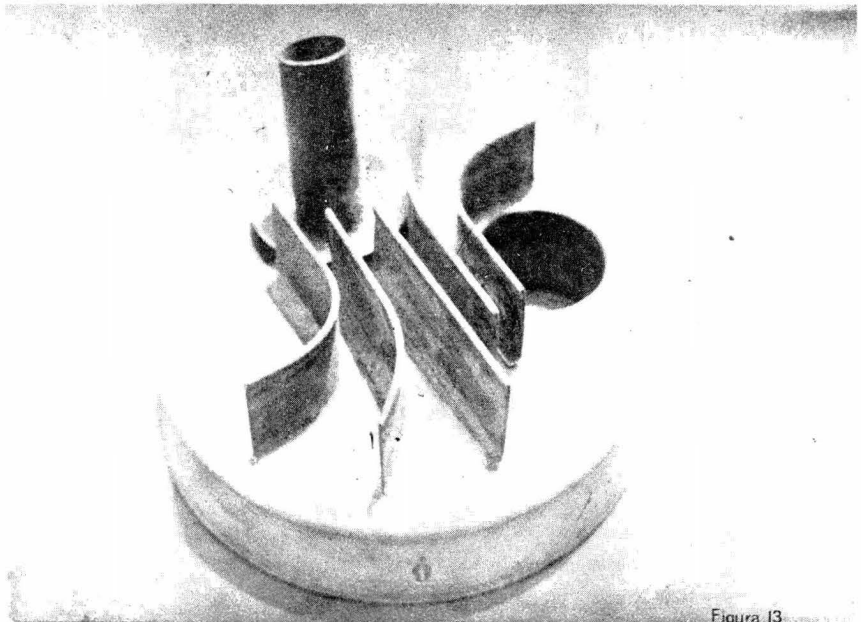


Figura 13

Condensador: C.F. 1

Material de construcción: Lámina de cobre de 0.15 cm.
de espesor.

Diámetro: 20 cm.

Altura: 40 cm.

Superficie de enfriamiento: 2300 cm².

Tanque de almacenamiento de flemas: T. D. 5

Material de construcción: Lámina de fierro de 0.15 cm
de espesor.

Diámetro: 40 cm.

Altura: 56 cm.

Capacidad: 70 litros.

Tanque de almacenamiento de alcohol rectificado:T.D.6

Frasco de vidrio Pyrex:

Capacidad: 18.9 litros

Condensador-enfriador de vidrio:C.V. 3

Superficie de enfriamiento del serpentín: 350 cm².

↑
El equipo quedó instalado como se observa en la fig. 9 y se -
realizaron experimentos con el objeto de establecer las condiciones -
de operación óptimas.

↓
CODIFICACION DEL DIAGRAMA DE FLUJO

(DIAGRAMA No. 1)

VALVULAS:

VA-1 Válvula de alimentación de agua, al tanque de prepara-
ción de mosto.

VAI-1 Válvula de alimentación de aire para mezclado del mos
(to.

- VS-1 Válvula de alimentación de vapor vivo de caldera, para calentamiento del mosto.
- VL-1 Válvula de lavado del tanque de preparación (T.P.1), - con descarga al drenaje.
- VS'-11 Válvula de alimentación de vapor vivo a tanque productor de levadura, para la esterilización del mosto.
- VAI-2 Válvula de alimentación de aire, a tanque productor - de levadura (T.L.D. 2).
- VM-2 Válvula de alimentación de mosto preparado a T.L.D. 2
- VD-1 Válvula de salida de vapores alcohólicos a la columna empacada, cuando T.L.D. 2 funciona como destilador.
- VA-2' Válvula de alimentación de agua a T.L.D. 2.
- VA-2 Válvula de alimentación de agua al serpentín de en---friamiento de T.L.D. 2.
- VAI-2 Válvula de descarga del aire residual, durante la producción de levadura.
- VL-11 Válvula de lavado de tanque T.L.D. 2.
- VM-3 Válvula de alimentación de mosto preparado a tanque - de fermentación alcohólica, (T.F. 3)
- VA-3 Válvula de agua de enfriamiento a tanque (T.F. 3).
- VL-3 Válvula de lavado de tanque de fermentación alcohólica
- VV-1 Válvula de descarga de mosto fermentado (vino) a la - bomba B-1.
- VV-11 Válvula de carga de vino al destilador, T.L.D. 2.
- VL-4 Válvula de lavado de tanque de almacenamiento de vino, con descarga al drenaje.

- VA-4 Válvula de alimentación de agua al condensador, C.F.1.
- VOH-1 Válvula de carga de alcohol de bajo grado, a la columna rectificadora.
- VA-5 y VA-5' Válvulas de alimentación y descarga de agua de enfriamiento al condensador de la columna rectificadora, — respectivamente.
- VA-6 y VA-6' Válvulas de alimentación y descarga de agua de enfriamiento al condensador de vidrio (C.V. 3) respectivamente.
- VOH-11 Válvula de descarga de producto (destilado) a tanque de almacenamiento, T. A. 6.
- VR-1 Válvula de reflujo al alambique (columna rectificadora)
- VS-3 Válvula de alimentación de vapor al serpentín de calentamiento del hervidor de la columna rectificadora.
- VSS-3 Válvula de seguridad del serpentín, del hervidor.
- TANQUES:
- T.P. 1 Tanque de preparación de mosto.
- T.L.D. 2 Tanque de producción de levadura y destilador de alcohol de bajo grado.
- T.F. 3 Tanque de fermentación alcohólica.
- T.D. 4 Tanque elevado de almacenamiento de vino.
- T.D. 5 Tanque de almacenamiento de alcohol de bajo grado.
- T.A. 6 Tanque de almacenamiento de alcohol de alto grado, rectificado (producto).
- COLUMNAS:
- C.E. 1 Columna empacada con esferas, para la purificación del

alcohol de bajo grado.

T.R. 2 Columna rectificadora de platos perforados y platos —
con mampáras.

ACCESORIOS:

F₁ Filtro empacado con algodón estéril, para limpieza del
aire a tanque producto de levadura.

F₂ Filtro (trampa de espuma) para separar la posible for-
mación de espuma durante la fermentación aerobia.

TV Trampa de vapor, conectada al serpentín del hervidor.

BOMBAS:

B-1 Bomba de carga de vino, a tanque elevado T.D. 4.

CONDENSADORES:

C.F. 1 Condensador de alcohol de bajo grado.

C.D. 2 Condensador de alcohol rectificado, proveniente de T.R.

C.V. 3 Condensador-enfriador de vidrio, instalado en la descar-
ga de C.F. 1, con salida a la atmósfera.

INSTRUMENTOS:

P₁ Manómetro indicador de presión de vapor y aire respec-
tivamente a tanque de preparación.

P₂ Manómetro indicador de presión de vapor y aire, a tan-
que productor de levadura y destilador.

P₃ Manómetro indicador de presión de alimentación de va-
por al hervidor.

R₁ Rotámetro indicador del flujo de aire a tanque T.L.D.2

T₂ Termómetro de carátula, indicador de temperatura en -

el hervidor.

OTROS:

- H Hervidor de la columna de rectificación.
D Descarga de productos de limpieza al drenaje.
V Salida de incondensables a la atmósfera, venteo.

4

C O S T O S

El principal objetivo de la instalación de este equipo, es la enseñanza que representa en la preparación de las futuras generaciones que egresen de la Facultad de Química; debido a esto, el aspecto económico está en segundo plano. Además que, como a continuación se observa, tanto, el costo del equipo, así como su instalación y operación alcanzan un monto relativamente bajo.

Los costos se dividen en dos partes:

I.- Costos del equipo y su instalación

II.- Costos de operación. (Costos de prácticas)

COSTOS DEL EQUIPO:

A continuación se da una lista de equipos, tuberías, válvulas y accesorios en general, con un costo promedio y algunos determinados - en base al material de construcción, mano de obra etc., por ser donativos de diferentes Industrias.

Se emplearon 28 valvulas, construidas en bronce de diferentes dimensiones (7,13 y 25 mm) con un costo promedio por válvula de \$ 30.00- dando un total de \$ 900.00.

Se instalaron 5 tanques de lámina de fierro, con un costo promedio- por tanque de \$ 35.00 dando un total de \$ 175.00

Se instaló un recipiente de cobre cerrado, con un costo de \$1,500.00

Se instalaron tuberías de fierro y cobre de las dimensiones siguientes: 50, 25, 13, 7 y 3.5 mm. de diámetro nominal; siendo el costo total de las tuberías de \$ 2,300.00.

Los instrumentos instalados (manómetros, termómetros y rotámetros) - dan un costo total de \$ 1,800.00.

Se instaló una bomba de engranes, con motor de 1/2 H.P. con un costo de \$ 800.00.

El costo calculado de la columna de rectificación es de \$ 10,000.00.

COSTO TOTAL DEL EQUIPO \$ 17,975.00

COSTOS DE INSTALACION:

Considerando que el 90 % de la instalación del equipo, fué realizada por el autor, y el otro 10 % por ayuda de trabajadores del Laboratorio, equivalente a destinar un trabajador de turno completo (8 horas), durante 15 días con un sueldo de \$ 100.00 por día resulta un costo de \$ 1,500.00.

COSTO DE INSTALACION \$ 1,500.00

I.- COSTO DEL EQUIPO INSTALADO \$ 19,475.00

II.- COSTOS DE OPERACION (COSTO DE LAS PRACTICAS):

Para el aspecto económico de las prácticas, se consideran los siguientes factores:

1.- Suministro de materias primas.- La materia prima es el piloncillo cuyo costo es de \$2.70 el kilogramo.

Se requiere para cada práctica de 16.5 Kg de piloncillo, por lo tanto su costo es de: 2.70 \$/kg.

$$x 16.5 \text{ Kg} = \$ \underline{\underline{44.55}}$$

2.- Suministro de vapor.

a).- Cantidad de vapor necesaria para la esterilización de 10 litros de mosto; 4.5 Kg. Costo del vapor \$ 0.15 el kilogramo (para caldera de vapor que trabaja a 3 Kg/cm² man.) Costo de vapor para la esterilización: 0.15 \$/kg. x 4.5 Kg = \$ 0.675

b).- Costo de vapor para la destilación de 110 litros de vino en el tanque T.L.D. 2

-Cantidad de vapor necesaria para la destilación de cada lote de 14 litros cada uno: 12 Kg
Costo del vapor: 0.15 \$/Kg.

$$\text{Costo } 0.15 \text{ \$/Kg} \times 12 \text{ Kg} = \$ \underline{\underline{1.80}} \text{ por lote.}$$

-Los 110 litros de mosto se destilan en 8 lotes por lo tanto: \$ 1.80 /lote x 8 lotes = -
\$ 14.40 costo total de la destilación en T.-
L. D. 2.

c).- Costo de vapor para la rectificación de 56 -
litros de alcohol de bajo grado. Llevándose a cabo en 4 lotes de 14 litros .

Cantidad de vapor por lote = 7 Kg.

Costo del vapor = 0.15 \$/Kg.

$$\text{Costo del vapor por lote} = 0.15 \text{ \$/Kg} \times 7 \text{ Kg} \\ = \$ 1.05$$

$$\text{Costo total del vapor por 4 lotes} = \$ 4.20$$

COSTO TOTAL DEL VAPOR = COSTO DEL VAPOR PARA LA ESTERILIZACION + COSTO DEL VAPOR PARA LA DESTILACION + COSTO DEL VAPOR PARA LA RECTIFICACION = $0.68 + 14.40 + 4.20 = \$ 19.30$

3.- Suministro de aire.

-Durante la preparación del mosto se requieren 3 m^3 de aire comprimido a una presión de 2 Kg/cm^2 man.

Costo del aire = $0.08 \text{ \$/m}^3$, a una presión de 2 Kg/cm^2

Costo del aire para agitación = $0.08 \text{ \$/m}^3 \times 3 \text{ m}^3 = \$ 0.24$

-Para la producción de 10 litros de levadura madre se requieren 2 m^3 de aire comprimido a una presión de 0.3 Kg/cm^2 man.

Costo del aire $0.08 \text{ \$/m}^3$

Costo del aire para la producción de levadura = $0.08 \text{ \$/m}^3 \times 2 \text{ m}^3 = \$ 0.16$

COSTO TOTAL DEL AIRE = $0.24 + 0.16 = \$ 0.40$

3.- Suministro de agua.

-Para la preparación del mosto se requieren 100 litros de agua destilada (obtenida en el Laboratorio de I.Q.), con un costo de $7.50 \text{ \$/m}^3$.

Costo del agua para mosto = $7.50 \text{ \$/m}^3 \times 0.1 \text{ m}^3 = \$ 0.75$

-Agua de enfriamiento.- Para enfriar el mosto esterilizado desde una temperatura de 100°C hasta 28°C

se requieren 150 litros de agua potable (línea general del laboratorio), cuyo costo es de $0.70 \text{ \$/m}^3$.

Costo del agua de enfriamiento $0.70 \text{ \$/m}^3 \times 0.15 \text{ m}^3 =$
 $\$ 0.11$

-Para la condensación de 56 litros de alcohol de bajo grado se requiere un suministro de agua al condensador de 2 m^3 de agua potable con un costo de $0.70 \text{ \$/m}^3$.

Costo del agua de condensación en C.F. 1 = $0.70 \text{ \$/m}^3$
 $\times 2 \text{ m}^3 = \$ 1.40$

-Para la condensación de 15 litros de producto (rectificado) se requieren 0.75 m^3 de agua potable, con un costo de $0.70 \text{ \$/m}^3$

Costo del agua al condensador C.D. 2 y C.V. 3 = ---
 $\$ 0.55$

-Costo del agua de lavado. Para cada operación se requieren aproximadamente 100 litros de agua potable con el mismo costo de $0.70 \text{ \$/m}^3$.

Costo del agua de lavado = $0.70 \text{ \$/m}^3 \times 0.1 \text{ m}^3 =$ ---
 $\$ 0.07$

COSTO TOTAL DEL AGUA = $0.75 + 0.10 + 1.40 + 0.55 +$
 $0.07 = \$ 1.90$

4.- Suministro de energía eléctrica.

Energía necesaria para la bomba B-1 = 0.373 Kilowatts

Costo del Kilowatt - hora = $\$ 0.55$

Costo de la energía para bombeo = 0.373 Kilowatt -

$$\times 0.33 \text{ hr} \times 0.55 \text{ \$/Kilowatt-hora} = \$ 0.10$$

5.- Costo total de la práctica = Costo de M.P. + Costo de vapor Costo del aire + Costo del agua + Costo de la energía eléctrica.

$$\text{Costo total de la práctica} = 44.55 + 19.30 + 0.40 + 1.90 + 0.10 = \$ \underline{\underline{66.25}}$$

CAPITULO IV

PROPOSICION DE PRACTICAS

En este capítulo se propone la creación de un nuevo tipo de prácticas experimentales en el laboratorio de Ingeniería Química, de la Facultad de Química, teniendo como principal objetivo, el desarrollo completo del proceso de fabricación de alcohol etílico utilizando el método de fermentación de azúcares y la posterior destilación del producto obtenido de la misma.

Los alumnos participantes serían, aquéllos que, cursen las materias de Azúcar I y II, impartándose actualmente en esta facultad. Cabe la posibilidad de que el equipo instalado sea utilizado también por alumnos que cursen materias relacionadas con el proceso ya sea en su totalidad o parcialmente. Por ejemplo lo que corresponde a la destilación de los productos obtenidos en la fermentación, podría ser utilizado por alumnos que cursen Ingeniería Química VI, en la cual una de las operaciones fundamentales es la destilación.

El proceso comienza con la trituration, disolución del piloncillo (o melaza) y la adición de sustancias nutrientes, así como, la acidez necesaria para tener una solución susceptible de fermentar (mosto).

La fermentación se divide en dos partes principales:

La primera es la fermentación aerobia de una porción del mosto, con el objeto de multiplicar el número de microorganismos contenidos en un volumen pequeño de la cepa pura del microorganismo.

La segunda parte es la fermentación en ausencia de aire (24) del mosto preparado, dando como producto una solución alcohólica de bajo grado con impurezas variadas (vino). Para lograr esta fermentación

es necesario el uso de la levadura reproducida.

Una vez que, la fermentación concluye, se procede a destilar el mosto fermentado, obteniendo como producto de esta un producto alcohólico de concentración baja, pero sin los productos más pesados a este producto generalmente se le llama flemas.

Posteriormente las flemas son destiladas en la columna de platos (columna rectificadora), obteniendo productos de distintas composiciones, dependiendo de la fracción de la cual proceden. Las fracciones que se obtienen son: cabezas, corazón y colas, ya que esta operación se lleva a cabo en lotes.

A continuación se establece la práctica formalizando: el título, método, técnica experimental, forma de control y observaciones generales durante el proceso.

P R A C T I C A

Título: "Producción de alcohol etílico"

Método: "Fermentación alcohólica con S.c. y destilación"

Objetivo: Obtención de alcohol con una concentración de unos —
90°G.L./15°C (90% en volumen).

Técnica: Se establecen las siguientes etapas:

I.- Preparación del mosto.

II.- Producción de levadura.

III.- Fermentación alcohólica.

IV.- Destilación del mosto fermentado (vino).

V.- Rectificación del alcohol de bajo grado (flemas)

I.- PREPARACION DEL MOSTO PARA LEVADURA.

Para la fermentación de 100 litros de mosto, se requieren 10 litros

de levadura, aproximadamente, ya que el microorganismo proceda de levadura en suspensión o de levadura seca (de panificación). La preparación de este mosto se hace en el tanque T.P. 1, con los -- servicios disponibles instalados con este fin, por ejemplo, vapor, - aire de agitación y agua destilada.

Si se parte de levadura en suspensión deberá procederse de la siguiente manera:

- a).- Pesar 2 kilogramos de piloncillo (o melaza de 93°Bx)
- b).- Diluir el piloncillo en 10 litros de agua destilada, en el tanque de preparación T.P. 1.
- c).- Agregar los siguientes nutrientes:
 - 50 gramos de sulfato de amonio
 - 20 gramos de fosfato monosódico (o un compuesto de fósforo equivalente).
- d).- Adicionar ácido sulfúrico hasta que el pH = 4.3. (aproximadamente 15 gramos de ácido concentrado).
- e).- Homogeneizar la solución, con aire comprimido, mediante la apertura de la válvula VAI-1; a una presión de 0.7 - Kg/cm² (manómetro P₁).

II.- PRODUCCION DE LEVADURA.

- A).- Esterilizar el mosto preparado a una presión de 1.3 Kg/cm² (manómetro P₂), en el tanque T.L.D. 2; cerrando todas las valvulas excepto la válvula de suministro de vapor vivo, valvula VS-11; durante 20 minutos, No rebasar la presión de 1.5 Kg/cm², ya que se abriría la válvula de seguridad VSS-2.

- B).- Una vez terminada la esterilización, se enfría la solución circulando agua fría por el serpentín de enfriamiento, mediante la apertura de la válvula VA-2, hasta que la temperatura de la solución sea de 28-30°C.
- C).- Se inocula (siembra) un litro de levadura en suspensión preparada en el Laboratorio de Microbiología con la técnica recomendada.
- D).- Fermentación de la Levadura Madre.- Una vez inoculada la levadura en el mosto, la fermentación se lleva a cabo en forma aerobia (25). El flujo de aire se controla con las valvulas VAI-2 y VAI-2', admisión y descarga respectivamente, observando una presión de 0.1-0.2 Kg/cm² en el manómetro P₂, y un flujo de aire entre 6-8 litros por minuto en el rotámetro R₁. Este flujo depende de la cantidad de espuma generada, de tal manera que debe ser controlado para que no haya pérdidas de azúcar por derrames.

Para la preparación del mosto y producción de levadura se requiere un tiempo de 10 horas aproximadamente, de las cuales unas 8 horas corresponden a la producción, tiempo en el cual las levaduras han aumentado desde 100-200 x 10⁶ células /ml hasta 1500-2000 x 10⁶ células/ml.

Durante la producción de la levadura (madre) se requiere la toma y control de los datos siguientes: Tiempo de inoculación, °Bx, temperatura, pH, número de células por mililitro. La toma de datos se puede realizar en la hoja de control siguiente:

PRODUCCION DE LEVADURA MADRE

HOJA DE CONTROL # 1

HORA	°Bx	°C	°Bx/20°C	pH	No.de Cel/ml	OBSERVACIONES
------	-----	----	----------	----	--------------	---------------

III.- FERMENTACION ALCOHOLICA.

a).- Preparación del mosto para alcohol.- Se procede a preparar 100 litros de mosto simultáneamente con la producción de levadura madre, ya que esto se puede hacer en el tanque de preparación, — mientras que aquélla se efectúa en el tanque T.L.D. 2 (en su fase final). El procedimiento es el siguiente:

- i.- Se pesan 20 Kg. de piloncillo triturado.
- ii.- Se diluyen en 100 litros de agua destilada (se puede utilizar otro tipo de agua pero que, no contenga cloro).
- iii.- Se calienta esta solución hasta 28-30°C, mediante la introducción de vapor vivo proveniente de la caldera, abriendo la válvula VS-1 a una presión de — aproximadamente 1 Kg/cm² indicada en el manómetro — P₁ .
- iv.- Se agregan los siguientes nutrientes:
500 gramos de sulfato de amonio.
200 gramos de fosfato monosódico (o compuesto de — fósforo equivalente)
- v.- Adicionar ácido sulfúrico hasta pH 4.5 (aproximadamente 150 gramos de ácido concentrado).
- vi.- Se agita la solución mediante el suministro de aire comprimido, abriendo la válvula VAI-1, a una presión de 0.5 Kg/cm² indicada en el manómetro P₁ .
- vii.- Las condiciones finales del mosto para alcohol son:
Temperatura: 28-30°C

Concentración de azúcares: 15°Bx/20°C

Acidez Sulfúrica: 1.5-2.0 g/litro (pH = 4.5)

Nutrientes: 0.5 % de sal de NH_4 - , 0.2% de sal --
de PO_4

b).- Inoculación de la levadura madre.- En estas condiciones el mosto y la levadura madre, provenientes de T.P. 1 y T.L.D. 2, respectivamente, se alimentan al tanque de fermentación alcohólica T.F. 3, en el cual se producirá el alcohol (vino). La alimentación del **mosto** debe ser en etapas (pueden ser cuatro descargas de 25 litros-cada una, espaciadas cada 5-7 horas. De tal manera que el microorganismo trabaje siempre en concentraciones relativamente bajas (7-10°-Bx).

c).- Desarrollo de la fermentación.- Una vez efectuada la -- inoculación de la levadura, en el mosto, se debe llevar un control - de la fermentación mediante una hoja de control en la cual se tengan los datos siguientes: Tiempo, concentración de azúcares °Bx, temperatura, pH, riqueza alcohólica y ocasionalmente verificar el contenido de células por mililitro y posibles contaminaciones (26).

En esta hoja de control (# 2), se anotaría el tiempo de inoculación, y el tiempo en el cual se alcanza el contenido máximo de - alcohol y por consiguiente el contenido más bajo en azúcares (tiempo de "muerte" de la fermentación). En este momento, el mosto se encuentra listo para su destilación; aunque es recomendable esperar un día más para que las levaduras en suspensión sean sedimentadas, disminuyendo los problemas de formación de espuma, durante la destilación.

FERMENTACION ALCOHOLICA

HOJA DE CONTROL # 2

Hora	°Bx	°C	°Bx/20°C	pH	R.A.	R.A./15°C	OBSERVACIONES
------	-----	----	----------	----	------	-----------	---------------

IV.- DESTILACION DEL MOSTO FERMENTADO (VINO)

Terminada la fermentación y transcurrido el tiempo de reposo de 24 - horas, se tiene un total de 54 horas desde el inicio de la fermentación hasta su destilación. Transcurrido este se procede a la destilación del vino, conociendo su riqueza alcohólica (ver determinación de la riqueza alcohólica, por ebulloscopía) (27).

Destilación del vino en T.L.D 2.- La destilación se lleva a cabo por lotes de 15-20 litros alimentados desde el tanque T.D. 4, por apertura de la válvula VV-11, (este tanque se cargó con el vino, bombeándolo desde T.F. 3 con la bomba B-1, hasta T.D. 4).

La destilación de cada lote se efectúa, mediante el suministro de vapor vivo en T.L.D. 2, por un tubo perforado, controlando su flujo — con la válvula VS-11, y su presión deberá ser de 0.3-0.4 Kg./cm², manómetro P₂.

Una vez que ha comenzado el suministro de vapor, la temperatura del vino se eleva hasta alcanzar la ebullición y los vapores comienzan a ascender pasando primero por la columna empacada C.E., de tal manera que los vapores tienen contacto con líquido que retorna desde la misma, resultando un enriquecimiento de estos vapores, que finalmente — son condensados en C.F.1 y depositados en el tanque de almacenamiento de flemas (alcohol de bajo grado), T.D. 5.

El producto destilado (flemas) deberá tener una concentración de — 16-20°G.L./15°C (Alcoholimetría) y su volumen será de 7.5-10 litros — por lote;

El residuo de la destilación lo constituyen, las vinazas, las que, — no deberán contener más de 0.1 % de alcohol.

Haciendo un balance de alcohol en T.L.D. 2 y T.D. 5 se tiene lo siguiente:

$$\text{Carga de vino (litros)} \times \text{Concentración del vino} = \text{Volumen de destilado} \times \text{Concentración del destilado.}$$

Con este balance se logra conocer el volumen de alcohol de bajo grado que se debe obtener (entre 7.5 y 10 litros por lote). El volumen que se va a destilar por este procedimiento es de 110 litros, de tal manera que, se requieren 6 lotes de 18.5 litros. Obteniéndose en T.D.5 un total de 54 litros de alcohol de bajo grado, aproximadamente con una concentración del 20 % en volumen (20 °G.L./15°C). Este producto se encuentra en condiciones para ser rectificado en la torre o columna rectificadora T. R.

V.- RECTIFICACION DEL ALCOHOL DE BAJO GRADO (FLEMAS).

Hasta el momento el producto tiene una concentración baja (20°G.L.—/15°C), por lo que para lograr el objetivo planteado será necesario una nueva destilación, pero ahora con un equipo de mayor eficiencia, es decir en la torre de rectificación, T.R. en la que se tiene un contacto mucho mayor entre los vapores ascendentes y el líquido descendente (reflujo) dando como resultado un aumento considerable en la concentración.

El procedimiento es el siguiente:

1o.- Se carga el hervidor de la torre con la solución alcohólica, por apertura de la válvula VOH-1 hasta que el volumen sea de unos 14 litros.

2o.- Se suministra vapor al serpentín de calentamiento del hervidor, con la válvula VS-3, a una presión de 0.2-0.3 Kg/cm² indi-

cada en el manómetro P₃.

30.- Una vez que se alcanza el punto de ebullición de la solución, los vapores ascienden a través de los platos perforados primero y perforados con mamparas en su segunda sección, hasta alcanzar el condensador donde por contacto con las paredes enfriadas con agua se condensan y parte del líquido retorna como reflujo interior; la otra parte del líquido es sacada como producto de alto grado. Los vapores que no condensan el condensador C.D. 2, lo hacen en el condensador de vidrio C.V. 3, instalado con este fin.

40.- Las primeras gotas de destilado tienen una concentración muy superior a los 60 °G.L. aproximadamente 95 °G.L.; a medida que transcurre la destilación, la concentración de este producto disminuye paulatinamente, hasta que esta es de 0 °G.L. con lo que se concluye la rectificación.

50.- Se recolectan durante la destilación diferentes fracciones, denominando a las primeras obtenidas como cabezas; a la segunda parte destilada, se le denomina corazón y es la fracción más importante en una destilación de tipo intermitente; la última parte destilada son las colas, que contienen los productos de mayor punto de ebullición, como aceite de fusel y otros (28), puede optarse por no destilar esta última fracción, dejándola en el hervidor, para ser descargada posteriormente como fondos.

La cantidad obtenida como cabezas deberá ser de un 58%, el corazón de un 30% y el producto de fondos de un 12%.

La concentración del producto importante, el corazón, es de 64-65 °G.-L./15°C, con lo que se logra el objetivo planteado.

PRACTICA DE DESTILACION

TITULO: " Destilación intermitente en el alambique"

OBJETIVO: Operar a relación de reflujo constante y composición de -
producto variable.

En muchos procesos de la Industria Química basados en una serie de -
operaciones intermitentes, no siempre es conveniente purificar pro-
ductos o separar los componentes de una mezcla mediante una destila-
ción continua. De la misma forma que ^{en} el Laboratorio de Ingeniería -
Química, siempre que se manejen cantidades relativamente pequeñas se
acude a la antigua técnica de la destilación intermitente.

En todos los tipos de destilación discontinua se coloca una carga -
de mezcla en el hervidor, y a continuación se comienza el calentamiento
de la misma. El vapor producido asciende a través de una columna-
de fraccionamiento y seguidamente se condensa dando el producto de -
cabeza, mientras que en el hervidor queda al concluir la destilación
un residuo menos volátil (colas). La destilación continua es un pro-
ceso que se realiza en régimen permanente ya que, una vez alcanzado
el equilibrio, las condiciones reinantes en un punto dado permanecen
constantes; por el contrario, la destilación intermitente sigue un -
régimen no permanente, ya que al ir decreciendo continuamente la con-
centración del componente más volátil en el hervidor, la temperatura
y composición de cualquier punto se modificará a medida que avanza -
la destilación.

La forma en que opera un hervidor de destilación intermitente es to-
talmente similar a una columna continua, siendo necesario introducir
por el domo de la columna una corriente de reflujo para que se pueda

conseguir la separación. Cuando se pone en funcionamiento puede operarse a reflujo total hasta que se alcancen las condiciones de equilibrio, fijándose en ese momento la relación de reflujo deseado; ó bien, puede fijarse desde el principio la relación de reflujo requerido, devolviéndose el destilado obtenido al hervidor hasta que se consigan las condiciones de equilibrio.

La columna de destilación intermitente (alambique) puede operar en dos condiciones extremas (29,30,31).

A) Relación de reflujo constante y composición de producto variable.

Este método permite separar una mezcla de composición conocida en una serie de fracciones de composiciones diferentes sin más que fijar una relación de reflujo y tomar diversos cortes de destilado. Este Método se sigue en la rectificación intermitente de etanol acuoso proveniente de vinos obtenidos por fermentación.

B) Relación de reflujo variable y composición del producto constante.

Si, por el contrario, se desea obtener un destilado de composición específica constante, es preciso aumentar continuamente la relación de reflujo, con lo que la cantidad obtenida disminuirá en la misma proporción.

Tanto en la Industria como en el Laboratorio se utilizan con frecuencia combinaciones intermedias de estos dos métodos.

Operación a relación de reflujo constante y composición de producto variable:

Al permanecer constante la relación de reflujo, la composición del destilado varía a medida que se modifica la composición de la mezcla contenida en el hervidor.

La composición del destilado se determina experimentalmente una vez - fijada la relación de reflujo de operación.

La relación entre los moles contenidos en el hervidor al principio - y al final de la operación, despreciando la cantidad de mezcla reteni da en la columna, está dada por la expresión:

$$\ln \frac{W_1}{W_2} = \int_{X_{W2}}^{X_{W1}} \frac{dW}{X_D - X_W} \dots \dots \dots \text{ec. (a).}$$

siendo:

W_1 y W_2 las cantidades de mezcla inicial y residual en el hervidor.

X_{W1} y X_{W2} las composiciones inicial y final en el hervidor.

Para evaluar la integral del segundo miembro se grafica $\frac{1}{X_D - X_W}$ contra X_W ; el área bajo la curva entre los límites X_{W1} y X_{W2} nos dá - el valor de la integral.

Para representar la curva $\frac{1}{X_D - X_W}$ contra X_W es preciso determinar ex- perimentalmente los valores X_W y X_D durante la destilación.

Por otro lado, considerando que, la columna opera adiabáticamente, - puede evaluarse la cantidad de calor suministrado al hervidor a lo - largo de la operación, que será precisamente el calor eliminado durante la condensación de $(D + RD)$ moles de vapor, es decir:

$$Q = \lambda (D + RD) \dots \dots \dots \text{ec. (b).}$$

siendo:

D Moles totales de destilado.

R Relación de reflujo establecida.

λ Calor latente molar del destilado.

DESCRIPCION DEL EQUIPO. DEL ALAMBIQUE PARA PRODUCCION
ALCOHOL

El alambique consta de: un hervidor con serpentín de cobre alimenta - do con vapor; dos secciones de platos, la sección inferior consta de 13 platos perforados y la superior de 18 platos perforados " baflea - dos", estos están instalados de tal manera que cada dos platos consti - tuyen una etapa; un condensador vertical abierto enfriado por agua; 3 rotámetros para medir flujo de agua al condensador, flujo de destila - do y reflujo, respectivamente.

TECNICA.

El hervidor del alambique se carga con 15 litros de mezcla etanol- -- agua de aproximadamente $20^{\circ}\text{G.L.}/15^{\circ}\text{C}$ (o su correspondiente fracción - mol de etanol X_{W_1}).

Se introduce vapor a una presión de $0.3-0.6 \text{ Kg/cm}^2$ al serpentín de ca - lentamiento del hervidor.

Se alimenta agua al condensador a razón de $5-10 \text{ l/min}$.

En estas condiciones se establece el reflujo total.

Conocido el vapor de reflujo total se fija una relación de reflujo de $0.7-0.8$, obteniéndose un producto de composición variable.

Durante la destilación se toman muestras en el fondo, del hervidor - (X_W) y a la salida del condensador (X_D), A estas muestras se les de - termina su composición alcohólica mediante el uso del alcohometro de Gay Lussac. Para transformar los $^{\circ}\text{G. L.}$ a fracción peso se utiliza - las Tablas I y II del apéndice, teniendo en cuenta la temperatura de - la medición. Posteriormente se calcula la fracción Mol.

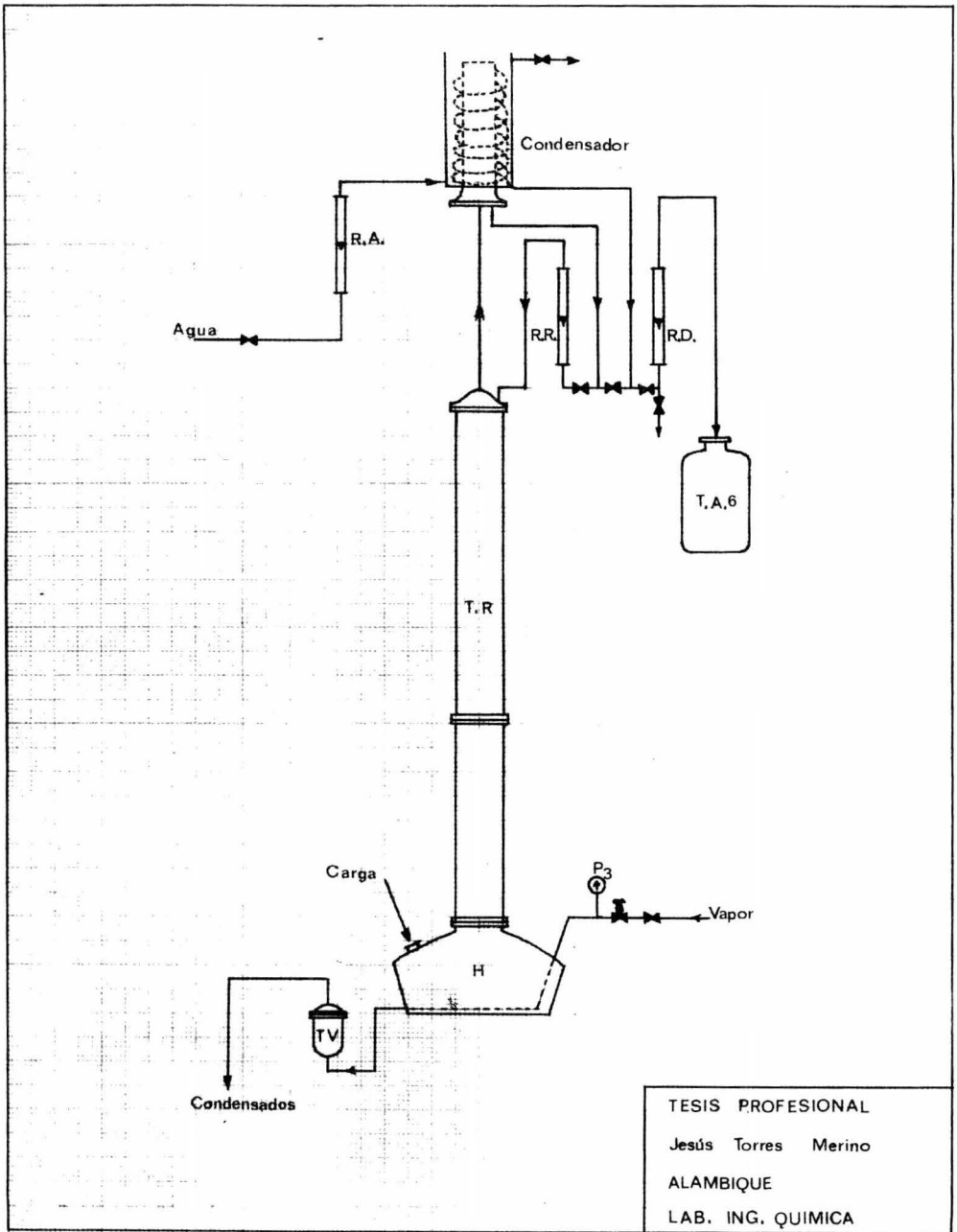
La destilación concluye cuando el residuo se encuentra agotado en - etanol $X_{W_2} = 0.0$.

PROBLEMAS A RESOLVER.

Determinar la composición global del destilado usando la Ec.(a) - y comparar el resultado con el obtenido experimentalmente.

Determinar la cantidad de calor suministrado en el hervidor.

Determinar graficamente el número de platos teóricos para las diferentes composiciones del destilado y residuo (simultáneamente)- con la relación de reflujo establecido.



CONCLUSIONES

El tipo de prácticas experimentales propuestas, tienen como objetivo el desarrollo de un proceso, que incluye las operaciones de fermentación y destilación.

Estas prácticas requieren de un tiempo mayor que las prácticas tradicionales de los Cursos de Azúcar e Ingeniería Química. Se tiene además la ventaja de que con este equipo, el estudiante se familiariza con el proceso industrial. El éxito de la práctica dependerá en gran parte de la responsabilidad de cada uno de los integrantes del grupo y de su eficiencia para realizar las diferentes etapas del proceso.

En el aspecto económico, las prácticas propuestas representan un bajo costo; el mantenimiento se reduce a la limpieza del equipo y conservación de la bomba, valvulas y otros accesorios.

Debido a la corrosión por acción del ácido, se estima que en un período de cinco años aproximadamente será necesario cambiar las partes construidas de lámina de fierro. Se propone que éstas se substituyan por otras construidas de acero inoxidable, aunque, por el costo elevado de este material se reduzca el tamaño del equipo.

Sería conveniente la creación de prácticas similares a las propuestas, que sean representativas de procesos industriales, que por tanto, incluyan Operaciones Unitarias diferentes, y puedan realizarse en equipos pequeños o plantas piloto.

A P E N D I C E

TABLA I

RELACION ENTRE DENSIDADES Y LAS RIQUEZAS ALCOHÓLICAS VOLUMÉTRICAS
Y PONDERALES (SEGÚN K. WINDISCH, A 15° C.)

Peso específico a $\frac{15}{15}$ - 0	Alcohol en peso por ciento	Alcohol en volumen por ciento	Gramos de alcohol en 100 ml
1	0	0	
0,9995	0,25	0,33	0,25
0,999	0,53	0,67	0,53
0,9985	0,8	1	0,8
0,998	1,06	1,34	1,00
0,9975	1,34	1,68	1,33
0,997	1,61	2,02	1,60
0,9965	1,89	2,37	1,88
0,996	2,17	2,72	2,10
0,9955	2,45	3,07	2,43
0,995	2,73	3,42	2,72
0,9945	3,02	3,77	3
0,994	3,31	4,14	3,21
0,9935	3,6	4,51	3,53
0,993	3,9	4,88	3,87
0,9925	4,2	5,25	4,17
0,992	4,51	5,63	4,47
0,9915	4,81	6,01	4,77
0,991	5,13	6,4	5,05
0,9905	5,44	6,79	5,35
0,99	5,76	7,18	5,6
0,9895	6,09	7,58	6,02
0,989	6,41	7,99	6,34
0,9885	6,75	8,4	6,69
0,988	7,08	8,81	7,09
0,9875	7,42	9,23	7,53
0,987	7,77	9,66	7,99
0,9865	8,12	10,09	8
0,986	8,48	10,52	8,55
0,9855	8,84	10,95	8,7
0,985	9,2	11,41	9,05
0,9845	9,57	11,89	9,42
0,984	9,94	12,32	9,78
0,9835	10,32	12,78	10,14
0,983	10,71	13,25	10,52
0,9825	11,09	13,72	10,87
0,982	11,48	14,2	11,27
0,9815	11,88	14,68	11,65
0,981	12,28	15,16	11,8
0,9805	12,68	15,65	12,42

TABLE I (Continuación)

Peso específico d $\frac{15}{15}$ °	Alcohol en peso por ciento	Alcohol en volumen por ciento	Gramos de alcohol en 100 ml.
0,98	13,08	16,14	12,81
0,9795	13,49	16,64	13,2
0,979	13,9	17,14	13,6
0,9785	14,32	17,64	14
0,978	14,73	18,14	14,39
0,9775	15,15	18,64	14,79
0,977	15,56	19,14	15,19
0,9765	15,98	19,65	15,59
0,976	16,4	20,15	15,99
0,9755	16,82	20,65	16,39
0,975	17,23	21,16	16,79
0,9745	17,65	21,66	17,19
0,974	18,07	22,16	17,58
0,9735	18,48	22,65	17,98
0,973	18,89	23,14	18,37
0,9725	19,3	23,63	18,76
0,972	19,71	24,12	19,14
0,9715	20,12	24,6	19,53
0,971	20,52	25,08	19,91
0,9705	20,92	25,56	20,28
0,97	21,32	26,03	20,66
0,9695	21,71	26,5	21,03
0,969	22,1	26,96	21,4
0,9685	22,49	27,42	21,76
0,968	22,87	27,87	22,12
0,9675	23,25	28,32	22,47
0,967	23,63	28,76	22,82
0,9665	24	29,2	23,17
0,966	24,37	29,64	23,52
0,9655	24,73	30,06	23,86
0,965	25,09	30,49	24,19
0,9645	25,45	30,91	24,53
0,964	25,81	31,32	24,85
0,9635	26,16	31,73	25,18
0,963	26,51	32,14	25,5
0,9625	26,85	32,54	25,82
0,962	27,19	32,93	26,13
0,9615	27,53	33,33	26,45
0,961	27,86	33,71	26,75
0,9605	28,19	34,1	27,06
0,96	28,52	34,47	27,36
0,9595	28,85	34,85	27,66

TABLA I (Continuación)

Peso específico d $\frac{15}{15}$ °	Alcohol en peso por ciento	Alcohol en volumen por ciento	Gramos de alcohol en 100 ml.
0,959	29,17	35,22	27,95
0,9585	29,49	35,59	28,24
0,958	29,81	35,95	28,53
0,9575	30,12	36,31	28,82
0,957	30,43	36,67	29,11
0,9565	30,74	37,02	29,38
0,956	31,05	37,37	29,66
0,9555	31,36	37,72	29,93
0,955	31,66	38,06	30,21
0,9545	31,96	38,4	30,48
0,954	32,25	38,74	30,74
0,9535	32,55	39,07	31,01
0,953	32,84	39,4	31,27
0,9525	33,13	39,73	31,53
0,952	33,42	40,06	31,79
0,9515	33,71	40,38	32,05
0,951	33,99	40,7	32,3
0,9505	34,28	41,02	32,55
0,95	34,56	41,33	32,8
0,9495	34,84	41,64	33,05
0,949	35,11	41,95	33,3
0,9485	35,39	42,26	33,54
0,948	35,66	42,57	33,78
0,9475	35,94	42,87	34,02
0,947	36,21	43,17	34,26
0,9465	36,48	43,47	34,5
0,946	36,75	43,77	34,73
0,9455	37,01	44,06	34,95
0,945	37,28	44,35	35,2
0,9445	37,54	44,64	35,43
0,944	37,8	44,93	35,66
0,9435	38,07	45,22	35,88
0,943	38,33	45,5	36,11
0,9425	38,59	45,79	36,34
0,942	38,84	46,07	36,55
0,9415	39,1	46,35	36,75
0,941	39,35	46,63	37
0,9405	39,61	46,9	37,22
0,94	39,86	47,18	37,44
0,9395	40,11	47,45	37,66
0,939	40,37	47,72	37,87
0,9385	40,62	47,99	38,08

TABLA I (Continuación)

Peso específico a $\frac{15}{15}^{\circ}$	Alcohol en peso por ciento	Alcohol en volumen por ciento	Gramos de alcohol en 100 ml.
0,938	40,87	48,26	38,3
0,9375	41,11	48,53	38,51
0,937	41,36	48,3	38,72
0,9365	41,61	49,06	38,93
0,936	41,85	49,33	39,14
0,9355	42,1	49,59	39,35
0,935	42,34	49,85	39,56
0,9345	42,59	50,11	39,76
0,934	42,83	50,37	39,97
0,9335	43,07	50,62	40,17
0,933	43,31	50,88	40,38
0,9325	43,55	51,14	40,58
0,932	43,79	51,39	40,78
0,9315	44,03	51,64	40,98
0,931	44,27	51,89	41,18
0,9305	44,51	52,14	41,38
0,93	44,75	52,39	41,58
0,9295	44,98	52,64	41,78
0,929	45,22	52,89	41,97
0,9285	45,46	53,14	42,17
0,928	45,69	53,39	42,37
0,9275	45,93	52,63	42,56
0,927	46,16	53,88	42,76
0,9265	46,39	54,12	42,95
0,926	46,63	54,36	43,14
0,9255	46,86	54,60	43,33
0,925	47,09	54,84	43,52
0,9245	47,32	55,08	43,71
0,924	47,55	55,32	43,9
0,9235	47,78	55,56	44,09
0,923	48,01	55,5	44,28
0,9225	48,24	56,03	44,47
0,922	48,47	56,27	44,65
0,9215	48,7	56,5	44,84
0,921	48,93	56,74	45,03
0,9205	49,16	56,97	45,21
0,92	49,39	57,21	45,4
0,9195	49,61	57,44	45,58
0,919	49,84	57,67	45,76
0,9185	50,07	50,9	45,95
0,918	50,29	58,13	46,13
0,9175	50,52	58,36	46,31

TABLA I (Continuación)

Peso específico d $\frac{15}{15}^{\circ}$	Alcohol en peso por ciento	Alcohol en volumen por ciento	Gramos de alcohol en 100 ml.
0,917	50,75	58,59	46,49
0,9165	50,97	58,82	46,67
0,916	51,2	59,05	46,86
0,9155	51,42	59,27	47,04
0,915	51,65	59,5	47,22
0,9145	51,87	59,72	47,39
0,914	52,09	59,95	47,57
0,9135	52,32	60,17	47,75
0,913	52,54	60,4	47,93
0,9125	52,76	60,62	48,11
0,912	52,99	60,84	48,28
0,9115	53,21	61,06	48,46
0,911	53,43	61,29	48,64
0,9105	53,65	61,51	48,81
0,91	53,88	61,73	48,99
0,9095	54,1	61,95	49,16
0,909	54,32	62,17	49,33
0,9085	54,54	62,39	49,51
0,908	54,76	62,61	49,68
0,9075	54,98	62,82	49,86
0,907	55,2	63,04	50,03
0,9065	55,43	63,26	50,2
0,906	55,65	63,47	50,37
0,9055	55,87	63,69	50,54
0,905	56,09	63,91	50,71
0,9045	56,31	64,12	50,89
0,904	56,52	64,34	51,06
0,9035	56,74	64,55	51,23
0,903	56,96	64,76	51,39
0,9025	57,18	64,98	51,56
0,902	57,4	65,19	51,73
0,9015	57,62	65,4	51,9
0,901	57,84	65,61	52,07
0,9005	58,06	65,82	52,24
0,9	58,27	66,03	52,4
0,8995	58,49	66,24	52,57
0,899	58,71	66,45	52,74
0,8985	58,93	66,66	52,9
0,898	59,15	66,87	53,07
0,8975	59,36	67,08	53,23
0,897	59,58	67,29	53,4
0,8965	59,8	67,5	53,56

TABLA I (Continuación)

Peso específico d $\frac{15}{15}^0$	Alcohol en peso por ciento	Alcohol en volumen por ciento	Gramos de alcohol en 100 ml.
0,896	60,02	67,7	53,73
0,8955	60,23	67,91	53,89
0,895	60,45	68,12	54,05
0,8945	60,66	68,32	54,22
0,894	60,88	68,53	54,38
0,8935	61,1	68,73	54,54
0,893	61,31	68,94	54,71
0,8925	61,53	69,14	54,87
0,892	61,75	69,34	55,03
0,8915	61,96	69,55	55,19
0,891	62,18	69,75	55,35
0,8905	62,39	69,95	55,51
0,89	62,61	70,16	55,67
0,8895	62,82	70,36	55,83
0,889	63,04	70,57	55,99
0,8885	63,25	70,76	56,15
0,888	63,47	70,96	56,31
0,8875	63,68	71,15	56,47
0,887	63,9	71,36	56,63
0,8865	64,11	71,56	56,79
0,886	64,33	71,76	56,94
0,8855	64,54	71,96	57,1
0,885	64,75	72,15	57,26
0,8845	64,97	72,35	57,42
0,884	65,18	72,55	57,57
0,8835	65,4	72,74	57,73
0,883	65,61	72,94	57,88
0,8825	65,82	73,14	58,04
0,882	66,04	73,33	58,19
0,8815	66,25	73,53	58,35
0,881	66,46	73,72	58,5
0,8805	66,67	73,92	58,66
0,88	66,89	74,11	58,81
0,8795	67,1	74,3	58,96
0,879	67,31	74,49	59,12
0,8785	67,52	74,69	59,27
0,878	67,74	74,88	59,42
0,8775	67,95	75,07	59,57
0,877	68,16	75,26	59,73
0,8765	68,37	75,45	59,88
0,876	68,58	75,64	60,03

TABLA I (Continuación)

Peso específico a $\frac{15}{15}$ °	Alcohol en peso por ciento	Alcohol en volumen por ciento	Gramos de alcohol en 100 ml.
0,8755	68,6	75,84	60,18
0,875	69,01	76,02	60,33
0,8745	69,22	76,21	60,48
0,874	69,43	76,4	60,63
0,8735	69,64	76,59	60,78
0,873	69,85	76,78	60,93
0,8725	70,06	76,97	61,08
0,872	70,27	77,15	61,23
0,8715	70,48	77,34	61,38
0,871	70,7	77,53	61,52
0,8705	70,91	77,71	61,67
0,87	71,12	77,9	61,82
0,8695	71,33	78,08	61,97
0,869	71,54	78,27	62,11
0,8685	71,74	78,45	62,20
0,868	71,95	78,64	62,4
0,8675	72,16	78,82	62,55
0,867	73,37	79	62,69
0,8665	72,58	79,18	62,84
0,866	72,79	79,37	62,98
0,8655	73	79,55	63,13
0,865	73,21	79,73	63,27
0,8645	73,42	79,91	63,41
0,864	73,63	80,09	63,50
0,8635	72,83	80,27	63,7
0,863	74,04	80,45	63,85
0,8625	74,25	80,63	63,99
0,862	74,46	80,81	64,13
0,8615	74,67	80,99	64,27
0,861	74,87	81,17	64,41
0,8605	75,08	81,34	64,55
0,86	75,29	81,52	64,69
0,8595	75,5	81,7	64,84
0,859	75,7	81,87	64,97
0,8585	75,91	82,05	65,11
0,858	76,12	82,23	65,25
0,8575	76,32	82,4	65,39
0,857	76,53	82,57	65,53
0,8565	76,74	82,75	65,67
0,856	76,94	82,92	65,81
0,8555	77,15	83,1	65,94
0,855	77,35	83,27	66,08

TABLE I (Continuación)

Peso específico d 15 °C	Alcohol en peso por ciento	Alcohol en volumen por ciento	Gramos de alcohol en 100 ml.
0,8545	77,56	83,44	66,22
0,854	77,70	83,61	66,36
0,8535	77,97	83,78	66,40
0,853	78,17	83,90	66,68
0,8525	78,32	84,13	66,76
0,852	78,58	84,3	66,9
0,8515	78,79	84,47	67,03
0,851	79,00	84,64	67,19
0,8505	79,2	84,8	67,3
0,85	79,4	84,97	67,43
0,8495	79,9	85,14	67,57
0,849	80,21	85,31	67,7
0,8485	80,61	85,47	67,83
0,848	80,21	85,64	67,96
0,8475	80,42	85,81	68,09
0,847	80,62	85,97	68,23
0,8465	80,82	86,14	68,36
0,846	81,02	86,3	68,49
0,8455	81,22	86,46	68,62
0,845	81,43	86,63	68,75
0,8445	81,63	86,79	68,88
0,844	81,83	86,95	69
0,8435	82,03	87,11	69,13
0,843	82,23	87,28	69,26
0,8425	82,43	87,44	69,39
0,842	82,63	87,6	69,52
0,8415	82,83	87,76	69,64
0,841	83,03	87,92	69,77
0,8405	83,23	88,08	69,9
0,84	83,43	88,23	70,02
0,8395	83,63	88,39	70,15
0,839	83,83	88,55	70,27
0,8385	84,03	88,71	70,4
0,838	84,22	88,86	70,52
0,8375	84,42	89,02	70,65
0,837	84,62	89,18	70,77
0,8365	84,82	89,33	70,89
0,836	85,01	89,48	71,01
0,8355	85,21	89,64	71,14
0,835	85,41	89,79	71,26
0,8345	85,6	89,94	71,38
0,834	85,8	90,09	71,5

TABLE I (Continuación)

Peso específico d $\frac{15}{15}$ °	Alcohol en peso por ciento	Alcohol en volumen por ciento	Gramos de alcohol en 100 ml.
0,8335	85,99	90,24	71,62
0,833	86,10	90,4	71,74
0,8325	86,38	90,55	71,85
0,832	86,58	90,7	71,97
0,8315	86,77	90,84	72,09
0,831	86,97	90,99	72,24
0,8305	87,10	91,14	72,33
0,83	87,35	91,29	72,44
0,8295	87,55	91,43	72,59
0,829	87,74	91,58	72,67
0,8285	87,93	91,72	72,73
0,828	88,12	91,87	72,8
0,8275	88,31	92,01	72,89
0,827	88,5	92,15	72,93
0,8265	88,69	92,3	72,94
0,826	88,88	92,44	72,99
0,8255	89,07	92,58	73,07
0,825	89,26	92,72	73,15
0,8245	89,45	92,86	73,29
0,824	89,64	93	73,38
0,8235	89,83	93,14	73,41
0,823	90,02	93,28	73,49
0,8225	90,2	93,41	73,53
0,822	90,39	93,55	73,54
0,8215	90,58	93,68	73,55
0,821	90,79	93,82	73,55
0,8205	90,95	93,95	73,56
0,82	91,13	94,09	73,56
0,8195	91,32	94,22	73,57
0,819	91,5	94,35	73,57
0,8185	91,68	94,48	73,58
0,818	91,87	94,61	73,58
0,8175	92,05	94,75	73,58
0,817	92,23	94,87	73,59
0,8165	92,41	95	73,59
0,816	92,59	95,13	73,59
0,8155	92,77	95,26	73,59
0,815	92,96	95,38	73,59
0,8145	93,13	95,51	73,59
0,814	93,31	95,63	73,59
0,8135	93,49	95,76	73,59
0,813	93,67	95,88	73,59

TABLEA I (Continuación)

Peso específico d $\frac{15}{15}^{\circ}$	Alcohol en peso por ciento	Alcohol en volumen por ciento	Gramos de alcohol en 100 ml.
0,8125	93,85	96	76,19
0,812	94,03	96,13	76,29
0,8115	94,2	96,25	76,38
0,811	94,38	96,37	76,48
0,8105	94,55	96,49	76,57
0,81	94,73	96,61	76,67
0,8095	94,9	96,73	76,76
0,809	94,08	96,85	76,86
0,8085	95,25	96,96	76,95
0,808	95,43	97,08	77,04
0,8075	95,6	97,19	77,13
0,807	95,77	97,31	77,22
0,8065	95,94	97,42	77,31
0,806	96,11	97,54	77,4
0,8055	96,29	97,65	77,49
0,805	96,46	97,76	77,58
0,8045	96,63	97,87	77,67
0,804	96,79	97,99	77,76
0,8035	96,96	98,09	77,85
0,803	97,13	98,2	77,93
0,8025	97,3	98,31	78,02
0,802	97,47	98,42	78,1
0,8015	97,63	98,52	78,19
0,801	97,8	98,63	78,27
0,8005	97,97	98,74	78,36
0,8	98,13	98,84	78,44
0,7995	98,3	98,95	78,52
0,799	98,46	99,05	78,61
0,7985	98,63	99,15	78,69
0,798	98,79	99,26	78,77
0,7975	98,95	99,36	78,85
0,797	99,11	99,46	78,93
0,7965	99,28	99,56	79,01
0,796	99,44	99,66	79,08
0,7955	99,6	99,76	79,16
0,795	99,76	99,86	79,24
0,7945	99,92	99,95	79,32
0,79425	100	100	79,36

TABLA IV

VARIACIÓN DE VOLUMEN, DENSIDAD Y GRADO ALCOHÓLICO DEL ALCOHOL ABSOLUTO
CON LA TEMPERATURA

Temperatura	Volumen	Densidad	Grado alcohólico
10° C.	0,99465	0,7986	99,1
11° »	0,99572	0,7977	99,3
12° »	0,99679	0,7968	99,45
13° »	0,99786	0,79603	99,65
14° »	0,99893	0,7951	99,85
15° »	1	0,79433	100
16° »	1,001135	0,7934	
17° »	1,00227	0,7925	
18° »	1,003405	0,7916	
19° »	1,00454	0,7907	
20° »	1,005675	0,7898	
21° »	1,00681	0,7889	
22° »	1,007945	0,788	
23° »	1,00908	0,7871	
24° »	1,010215	0,7862	
25° »	1,01135	0,7853	
26° »	1,01248	0,7845	
27° »	1,012615	0,7835	
28° »	1,01475	0,7827	
29° »	1,015881	0,7818	
30° »	1,01702	0,781	

TABLA II

TABLA DE LA RIQUEZA ALCOHÓLICA

Grados del termómetro.....	GRADOS APARENTES DEL ALCOHOMETRO									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Volumen del líquido correspondiente, por 100 kilogramos, al grado aparente									
	100 ¹ ,3	100 ¹ ,5	100 ¹ ,6	100 ¹ ,8	100 ¹ ,9	101 ¹ ,1	101 ¹ ,2	101 ¹ ,3	101 ¹ ,4	101 ¹ ,6
	Grados corregidos a razón de la temperatura o riqueza en alcohol a 15°									
0	1.3	2.4	3.4	4.4	5.4	6.5	7.5	8.6	9.7	10.9
1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
3	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
4	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
5	1.4	2.5	3.5	4.5	5.5	6.6	7.7	8.7	9.8	10.9
6	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
7	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
8	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
9	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
10	1.4	2.4	3.4	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.6
11	1.3	2.4	3.4	4.4	5.4	6.4	7.4	8.4	9.4	10.5
12	1.2	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3	9.3	10.4
13	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9.2	10.3
14	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.1	10.2
15	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
16	0.9	1.9	2.9	3.9	4.9	5.9	6.9	7.9	8.9	9.9
17	0.8	1.8	2.8	3.8	4.8	5.8	6.8	7.8	8.8	9.8
18	0.7	1.7	2.7	3.7	4.7	5.7	6.7	7.7	8.7	9.7
19	0.6	1.6	2.6	3.6	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5
20	0.5	1.5	2.4	3.4	4.4	5.4	6.4	7.3	8.3	9.3
21	0.4	1.4	2.3	3.3	4.3	5.2	6.2	7.1	8.1	9.1
22	0.3	1.3	2.2	3.2	4.1	5.1	6.1	7.0	7.9	8.9
23	0.1	1.1	2.1	3.1	4.0	4.9	5.9	6.8	7.8	8.7
24	»	1.0	1.9	2.9	3.8	4.8	5.8	6.7	7.6	8.5
25	»	0.8	1.7	2.7	3.6	4.6	5.5	6.5	7.4	8.3
26	»	0.7	1.6	2.6	3.5	4.4	5.4	6.3	7.2	8.1
27	»	0.5	1.5	2.4	3.3	4.3	5.2	6.1	7.0	7.9
28	»	0.3	1.3	2.2	3.1	4.1	5.0	5.9	6.8	7.7
29	»	0.1	1.1	2.0	2.9	3.9	4.8	5.7	6.6	7.5
30	»	0.0	0.9	1.9	2.8	3.7	4.6	5.5	6.4	7.3

TABLA II (Continuación)

Grados del termómetro.....	GRADOS APARENTES DEL ALCOHOMETRO									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Volumen del líquido correspondiente, por 100 kilogramos, al grado aparente									
	101 ¹ ,7	101 ¹ ,8	101 ¹ ,9	102 ¹ ,0	102 ¹ ,1	102 ¹ ,2	102 ¹ ,3	102 ¹ ,5	102 ¹ ,6	102 ¹ ,7
	Grados corregidos a razón de la temperatura o riqueza en alcohol a 15°									
0	12.2	13.4	14.7	16.1	17.5	19.0	20.4	21.7	23.0	24.3
1	•	13.4	14.7	16.0	17.3	18.7	20.1	21.4	22.7	24.0
2	•	13.4	14.7	16.0	17.2	18.6	19.9	21.2	22.4	23.7
3	•	13.3	14.6	15.9	17.1	18.3	19.7	20.9	22.1	23.4
4	•	13.3	14.5	15.8	16.9	18.1	19.4	20.7	21.9	23.1
5	12.1	13.2	14.4	15.7	16.8	18.0	19.2	20.5	21.6	22.8
6	•	13.1	14.3	15.6	16.7	17.8	19.0	20.3	21.4	22.5
7	•	13.0	14.2	15.4	16.6	17.7	18.8	20.0	21.0	22.1
8	•	13.0	14.1	15.3	16.4	17.5	18.6	19.7	20.7	21.8
9	•	12.9	14.0	15.1	16.2	17.3	18.4	19.5	20.5	21.5
10	11.7	12.7	13.8	14.9	16.0	17.0	18.1	19.2	20.2	21.3
11	11.6	12.6	13.6	14.7	15.8	16.8	17.9	19.0	20.0	21.0
12	11.5	12.5	13.5	14.6	15.6	16.6	17.6	18.7	19.7	20.7
13	11.4	12.4	13.4	14.4	15.4	16.4	17.4	18.5	19.5	20.5
14	11.2	12.2	13.2	14.2	15.2	16.2	17.2	18.2	19.2	20.2
15	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0
16	10.9	11.9	12.9	13.9	14.9	15.9	16.9	17.8	18.7	19.7
17	10.8	11.7	12.7	13.7	14.7	15.6	16.6	17.5	18.4	19.4
18	10.7	11.6	12.5	13.5	14.5	15.4	16.3	17.3	18.2	19.1
19	10.5	11.4	12.4	13.3	14.3	15.2	16.1	17.0	17.9	18.8
20	10.3	11.2	12.2	13.1	14.0	14.9	15.8	16.7	17.6	18.5
21	10.1	11.0	11.9	12.8	13.7	14.6	15.5	16.4	17.3	18.2
22	9.9	10.8	11.7	12.6	13.5	14.4	15.3	16.2	17.0	17.9
23	9.7	10.6	11.5	12.4	13.3	14.1	15.0	15.9	16.7	17.6
24	9.5	10.4	11.3	12.2	13.1	13.9	14.8	15.7	16.5	17.4
25	9.3	10.2	11.1	12.0	12.8	13.6	14.5	15.4	16.2	17.1
26	9.0	9.9	10.8	11.7	12.6	13.4	14.2	15.1	15.9	16.7
27	8.8	9.7	10.6	11.5	12.3	13.1	13.9	14.8	15.6	16.4
28	8.6	9.5	10.3	11.2	12.0	12.8	13.6	14.4	15.2	16.0
29	8.4	9.2	10.1	11.0	11.7	12.5	13.3	14.1	14.9	15.7
30	8.1	9.0	9.8	10.7	11.5	12.3	13.0	13.8	14.6	15.4

TABLA II (Continuación)

Grados del termómetro.....	GRADOS APARENTES DEL ALCOHOMETRO									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Volumen del líquido correspondiente, por 100 kilogramos, al grado aparente									
	102 ¹ ,8	102 ¹ ,9	103 ¹ ,0	103 ¹ ,1	103 ¹ ,2	103 ¹ ,3	103 ¹ ,4	103 ¹ ,5	103 ¹ ,7	103 ¹ ,8
	Grados corregidos a razón de la temperatura o riqueza en alcohol a 15°									
0	25.7	27.1	28.5	29.9	31.1	32.3	33.4	34.5	35.6	36.6
1	25.4	26.8	28.1	29.4	30.6	31.8	32.9	34.0	35.1	36.1
2	25.0	26.4	27.6	28.9	30.2	31.4	32.5	33.5	34.6	35.6
3	24.7	26.0	27.3	28.6	29.8	31.0	32.1	33.1	34.1	35.2
4	24.4	25.7	26.9	28.1	29.3	30.6	31.6	32.7	33.7	34.7
5	24.1	25.3	26.5	27.7	28.9	30.1	31.2	32.3	33.3	34.3
6	23.7	25.0	26.1	27.3	28.5	29.7	30.8	31.8	32.8	33.8
7	23.4	24.7	25.8	27.0	28.1	29.3	30.3	31.3	32.3	33.3
8	23.0	24.2	25.4	26.6	27.7	28.9	29.9	30.9	31.9	32.9
9	22.7	23.9	25.0	26.2	27.3	28.5	29.5	30.5	31.5	32.5
10	22.4	23.5	24.6	25.8	26.9	28.0	29.1	30.1	31.1	32.1
11	22.1	23.2	24.3	25.4	26.5	27.7	28.7	29.7	30.7	31.7
12	21.8	22.9	24.0	25.1	26.1	27.2	28.2	29.2	30.2	31.2
13	21.5	22.6	23.7	24.7	25.7	26.8	27.8	28.8	29.8	30.8
14	21.2	22.3	23.3	24.3	25.3	26.4	27.4	28.4	29.4	30.4
15	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0
16	20.7	21.7	22.7	23.7	24.7	25.7	26.6	27.6	28.6	29.6
17	20.4	21.4	22.4	23.4	24.4	25.4	26.3	27.3	28.2	29.2
18	20.1	21.1	22.0	23.0	24.0	25.0	25.9	26.9	27.8	28.8
19	19.8	20.8	21.7	22.7	23.6	24.6	25.5	26.4	27.3	28.3
20	19.5	20.5	21.4	22.4	23.3	24.3	25.2	26.1	27.0	27.9
21	19.1	20.1	21.1	22.1	22.9	23.9	24.8	25.6	26.6	27.5
22	18.8	19.8	20.7	21.6	22.5	23.5	24.3	25.2	26.2	27.1
23	18.5	19.4	20.3	21.3	22.2	23.1	24.0	24.9	25.8	26.7
24	18.2	19.1	20.0	21.0	21.8	22.7	23.6	24.5	25.4	26.3
25	17.9	18.8	19.7	20.6	21.5	22.4	23.2	24.2	25.1	26.0
26	17.6	18.5	19.4	20.3	21.2	22.1	22.9	23.8	24.7	25.6
27	17.3	18.2	19.1	20.0	20.8	21.7	22.6	23.5	24.3	25.2
28	16.9	17.9	18.8	19.6	20.5	21.4	22.2	23.1	23.9	24.8
29	16.6	17.5	18.4	19.3	20.2	21.0	21.8	22.7	23.6	24.2
30	16.3	17.2	18.1	19.0	19.8	20.7	21.5	22.4	23.2	24.0

TABLA II (Continuación)

Grados del termómetro.....	GRADOS APARENTES DEL ALCOHOMETRO									
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	Volumen del líquido correspondiente, por 100 kilogramos, al grado aparente									
	103 ¹ ,9	104 ¹ ,0	104 ¹ ,2	104 ¹ ,3	104 ¹ ,4	104 ¹ ,6	104 ¹ ,8	104 ¹ ,9	105 ¹ ,1	105 ¹ ,2
	Grados corregidos a razón de la temperatura o riqueza en alcohol a 15°									
0	37.6	38.6	39.6	40.6	41.5	42.5	43.5	44.4	45.4	46.4
1	37.1	38.1	39.1	40.1	41.2	42.2	43.1	44.1	45.0	46.0
2	36.7	37.7	38.7	39.7	40.7	41.7	42.7	43.7	44.6	45.5
3	36.2	37.3	38.3	39.3	40.3	41.3	42.3	43.2	44.2	45.2
4	35.7	36.7	37.7	38.8	39.8	40.8	41.8	42.8	43.8	44.8
5	35.3	36.3	37.3	38.3	39.3	40.3	41.4	42.4	43.4	44.3
6	34.9	35.9	36.9	37.9	38.9	39.9	40.9	41.9	42.9	43.9
7	34.3	35.4	36.4	37.4	38.4	39.4	40.4	41.4	42.4	43.4
8	33.9	34.9	35.9	36.9	38.0	39.0	40.0	41.0	42.0	43.0
9	33.5	34.5	35.5	36.5	37.5	38.6	39.6	40.6	41.6	42.6
10	33.1	34.1	35.1	36.1	37.1	38.1	39.1	40.1	41.1	42.1
11	32.7	33.7	34.7	35.7	36.7	37.7	38.7	39.7	40.7	41.7
12	32.2	33.2	34.3	35.3	36.3	37.3	38.3	39.3	40.3	41.3
13	31.8	32.8	33.8	34.8	35.8	36.8	37.8	38.8	39.8	40.9
14	31.4	32.4	33.4	34.4	35.4	36.4	37.4	38.4	39.4	40.4
15	31.0	32.0	33.0	34.0	35.0	36.0	37.0	38.0	39.0	40.0
16	30.6	31.6	32.5	33.5	34.5	35.5	36.5	37.5	38.5	39.5
17	30.2	31.2	32.1	33.1	34.1	35.1	36.1	37.1	38.1	39.1
18	29.8	30.8	31.7	32.6	33.6	34.6	35.6	36.6	37.6	38.6
19	29.3	30.3	31.2	32.2	33.2	34.2	35.2	36.2	37.2	38.2
20	28.9	29.9	30.8	31.8	32.8	33.8	34.8	35.8	36.8	37.8
21	28.5	29.5	30.4	31.4	32.4	33.4	34.4	35.4	36.4	37.4
22	28.1	29.1	30.0	31.0	32.0	33.0	34.0	35.0	36.0	36.9
23	27.7	28.7	29.6	30.6	31.6	32.6	33.5	34.5	35.5	36.5
24	27.3	28.3	29.2	30.2	31.1	32.1	33.1	34.1	35.1	36.1
25	26.9	27.9	28.8	29.7	30.7	31.7	32.7	33.7	34.7	35.7
26	26.5	27.5	28.4	29.3	30.3	31.3	32.3	33.3	34.3	35.3
27	26.1	27.1	27.9	28.9	29.9	30.9	31.9	32.9	33.9	34.8
28	25.7	26.6	27.5	28.5	29.5	30.5	31.5	32.5	33.5	34.4
29	25.2	26.2	27.1	28.1	29.1	30.1	31.1	32.1	33.1	34.0
30	24.9	25.8	26.7	27.7	28.7	29.7	30.7	31.6	32.6	33.6

TABLA II (Continuación)

Grados del termómetro	GRADOS APARENTES DEL ALCOHOMETRO									
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	Volumen del líquido correspondiente, por 100 kilogramos, al grado aparente									
	105 ¹ ,4	105 ¹ ,6	105 ¹ ,8	106 ¹ ,0	106 ¹ ,2	106 ¹ ,4	106 ¹ ,6	106 ¹ ,8	107 ¹ ,0	107 ¹ ,2
	Grados corregidos a razón de la temperatura o riqueza en alcohol a 15°									
0	47.4	48.4	49.3	50.3	51.3	52.3	53.2	54.1	55.1	51.1
1	47.0	48.0	48.9	49.9	50.8	51.8	52.8	53.7	54.7	55.7
2	46.5	47.5	48.5	49.5	50.4	51.4	52.3	53.3	54.3	55.3
3	46.2	47.1	48.1	49.0	50.0	51.0	52.0	52.9	53.9	54.8
4	45.8	46.7	47.7	48.7	49.6	50.6	51.5	52.5	53.5	54.5
5	45.3	46.2	47.2	48.2	49.2	50.2	51.1	52.1	53.1	54.0
6	44.9	45.8	46.8	47.8	48.8	49.8	50.8	51.7	52.7	53.7
7	44.4	45.4	46.4	47.4	48.4	49.4	50.4	51.3	52.3	53.2
8	44.0	45.0	46.0	47.0	47.9	48.9	49.9	50.9	51.9	52.9
9	43.6	44.6	45.6	46.6	47.5	48.5	49.5	50.5	51.5	52.5
10	43.1	44.1	45.1	46.1	47.1	48.1	49.1	50.1	51.1	52.0
11	42.7	43.7	44.7	45.7	46.7	47.7	48.7	49.7	50.7	51.7
12	42.3	43.3	44.3	45.3	46.3	47.3	48.3	49.3	50.3	51.2
13	41.9	42.9	43.9	44.9	45.9	46.9	47.9	48.9	49.9	50.9
14	41.4	42.4	43.4	44.4	45.4	46.4	47.4	48.4	49.4	50.4
15	41.0	42.0	43.0	44.0	45.0	46.0	47.0	48.0	49.0	50.0
16	40.6	41.6	42.6	43.6	44.6	45.6	46.6	47.6	48.6	49.6
17	40.2	41.1	42.1	43.1	44.1	45.2	46.2	47.2	48.2	49.2
18	39.7	40.7	41.7	42.7	43.7	44.8	45.8	46.8	47.8	48.8
19	39.3	40.3	41.3	42.4	43.4	44.4	45.4	46.4	47.4	48.4
20	38.9	39.9	40.9	42.0	43.0	44.0	45.0	46.0	47.0	48.0
21	38.4	39.4	40.4	41.5	42.5	43.5	44.6	45.6	46.6	47.6
22	38.0	39.0	40.0	41.1	42.1	43.1	44.1	45.1	46.1	47.1
23	37.6	38.6	39.6	40.6	41.6	42.6	43.6	44.6	45.7	46.7
24	37.2	38.2	39.2	40.2	41.2	42.2	43.3	44.3	45.3	46.3
25	36.7	37.7	38.7	39.8	40.8	41.9	42.9	43.9	44.9	46.0
26	36.3	37.3	38.3	39.4	40.4	41.5	42.5	43.5	44.5	45.5
27	35.9	36.9	37.9	39.0	40.0	41.1	42.1	43.1	44.1	45.1
28	35.4	36.5	37.5	38.6	39.6	40.6	41.6	42.6	43.7	44.7
29	35.0	36.0	37.1	38.1	39.1	40.2	41.2	42.2	43.3	44.3
30	34.6	35.6	36.6	37.7	38.7	39.8	40.8	41.8	42.8	43.8

TABLA II (Continuación)

Grados del termómetro	GRADOS APARENTES DEL ALCOHOMETRO									
	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	Volumen del líquido correspondiente, por 100 kilogramos, al grado aparente									
	1071,5	1071,7	1071,9	1081,2	1081,4	1081,7	1081,9	1091,2	1091,4	1091,7
Grados corregidos a razón de la temperatura o riqueza en alcohol a 15°										
0	57.1	58.0	59.0	59.9	60.9	61.9	62.9	63.0	64.0	65.8
1	56.7	57.6	58.6	59.6	60.6	61.6	62.5	63.5	64.5	65.5
2	56.3	57.2	58.2	59.2	60.2	61.2	62.1	63.1	64.1	65.1
3	55.8	56.8	57.8	58.7	59.8	60.8	61.7	62.7	63.7	64.7
4	55.5	56.5	57.4	58.4	59.4	60.3	61.3	62.3	63.3	64.3
5	55.0	56.0	57.0	58.0	59.0	60.0	60.9	61.9	62.9	63.9
6	54.7	55.6	56.6	57.5	58.5	59.5	60.5	61.5	62.5	63.5
7	54.2	55.2	56.2	57.1	58.1	59.1	60.1	61.1	62.1	63.1
8	53.9	54.9	55.8	56.8	57.8	58.8	59.8	60.8	61.8	62.8
9	53.5	54.5	55.4	56.4	57.4	58.4	59.4	60.4	61.4	62.4
10	53.0	54.0	55.0	56.0	57.0	58.0	59.0	60.0	61.0	62.0
11	52.7	53.7	54.6	55.6	56.6	57.6	58.6	59.6	60.6	61.6
12	52.2	53.2	54.2	55.2	56.2	57.2	58.2	59.2	60.2	61.2
13	51.9	52.8	53.8	54.8	55.8	56.8	57.8	58.8	59.8	60.8
14	51.4	52.4	53.4	54.4	55.4	56.4	57.4	58.4	59.4	60.4
15	51.0	52.0	53.0	54.0	55.0	56.0	57.0	58.0	59.0	60.0
16	50.6	51.6	52.6	53.6	54.6	55.6	56.6	57.6	58.6	59.6
17	50.2	51.2	52.2	53.2	54.2	55.2	56.2	57.2	58.2	59.2
18	49.8	50.8	51.8	52.8	53.8	54.8	55.8	56.8	57.8	58.8
19	49.4	50.4	51.4	52.4	53.4	54.4	55.4	56.4	57.4	58.4
20	49.0	50.0	51.0	52.0	53.0	54.0	55.0	56.0	57.0	58.0
21	48.6	49.6	50.6	51.6	52.6	53.6	54.6	55.6	56.6	57.6
22	48.1	49.1	50.1	51.1	52.2	53.2	54.2	55.2	56.2	57.2
23	47.7	48.8	49.8	50.8	51.8	52.8	53.8	54.8	55.8	56.8
24	47.3	48.4	49.4	50.4	51.4	52.4	53.4	54.4	55.4	56.4
25	47.0	48.0	49.0	50.0	51.0	52.0	53.0	54.0	55.0	56.0
26	46.5	47.5	48.5	49.5	50.5	51.5	52.5	53.5	54.5	55.6
27	46.1	47.1	48.1	49.1	50.2	51.2	52.2	53.2	54.2	55.2
28	45.7	46.7	47.7	48.7	49.8	50.8	51.8	52.8	53.8	54.8
29	45.3	46.3	47.3	48.4	49.4	50.4	51.4	52.4	53.4	54.4
30	44.9	45.9	47.0	48.0	49.0	50.0	51.0	52.0	53.0	54.0

TABLA II (Continuación)

Grados del termómetro	GRADOS APARENTES DEL ALCOHOMETRO									
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
	Volumen del líquido correspondiente, por 100 kilogramos, al grado aparente									
	110 ⁰ ,0	110 ⁰ ,2	110 ⁰ ,5	110 ⁰ ,8	111 ⁰ ,1	111 ⁰ ,3	111 ⁰ ,6	111 ⁰ ,9	112 ⁰ ,2	112 ⁰ ,5
	Grados corregidos a razón de la temperatura o riqueza en alcohol a 15°									
0	66.8	67.8	68.8	69.8	70.8	71.7	72.7	73.7	74.7	75.7
1	66.5	67.5	68.5	69.4	70.4	71.3	72.3	73.3	74.3	75.3
2	66.1	67.1	68.1	69.1	70.1	71.0	71.9	72.9	73.9	74.9
3	65.6	66.6	67.6	68.6	69.6	70.6	71.6	72.6	73.6	74.5
4	65.3	66.3	67.3	68.3	69.3	70.2	71.2	72.2	73.2	74.1
5	64.9	65.9	66.9	67.9	68.9	69.8	70.8	71.8	72.8	73.8
6	64.5	65.5	66.5	67.5	68.5	69.5	70.5	71.5	72.5	73.4
7	64.1	65.1	66.1	67.1	68.1	69.1	70.1	71.1	72.0	73.0
8	63.8	64.8	65.8	66.8	67.7	68.7	69.7	70.6	71.6	72.6
9	63.4	64.4	65.4	66.4	67.3	68.3	69.3	70.3	71.3	72.3
10	63.0	64.0	65.0	66.0	67.0	67.9	68.9	69.9	70.9	71.9
11	62.6	63.6	64.6	65.6	66.6	67.6	68.6	69.6	70.6	71.6
12	62.2	63.2	64.2	65.2	66.2	67.2	68.2	69.2	70.2	71.2
13	61.8	62.8	63.8	64.8	65.8	66.8	67.8	68.8	69.8	70.8
14	61.4	62.4	63.4	64.4	65.4	66.4	67.4	68.4	69.4	70.4
15	61.0	62.0	63.0	64.0	65.0	66.0	67.0	68.0	69.0	70.0
16	60.6	61.6	62.6	63.6	64.6	65.6	66.6	67.6	68.6	69.6
17	60.2	61.2	62.2	63.2	64.2	65.2	66.2	67.2	68.2	69.2
18	59.8	60.8	61.8	62.8	63.8	64.8	65.8	66.8	67.8	68.8
19	59.4	60.4	61.4	62.5	63.5	64.5	65.5	66.5	67.5	68.5
20	59.0	60.0	61.0	62.0	63.0	64.0	65.1	66.1	67.1	68.1
21	58.6	59.6	60.7	61.7	62.7	63.7	64.7	65.7	66.7	67.7
22	58.2	59.2	60.3	61.3	62.3	63.3	64.3	65.3	66.3	67.3
23	57.8	58.8	59.8	60.9	61.9	62.9	63.9	64.9	65.9	66.9
24	57.4	58.4	59.4	60.5	61.5	62.5	63.5	64.5	65.5	66.5
25	57.0	58.0	59.0	60.1	61.1	62.1	63.1	64.1	65.1	66.1
26	56.6	57.6	58.6	59.6	60.7	61.7	62.7	63.7	64.7	65.7
27	56.2	57.2	58.3	59.3	60.3	61.3	62.3	63.3	64.3	65.3
28	55.8	56.8	57.8	58.8	59.9	60.9	61.9	62.9	63.9	64.9
29	55.4	56.4	57.4	58.5	59.5	60.5	61.5	62.5	63.5	64.5
30	55.0	56.0	57.1	58.1	59.1	60.1	61.1	62.1	63.1	64.1

TABLA II (Continuación)

Grados del termómetro	GRADOS APARENTES DEL ALCOHOMETRO									
	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	Volumen del líquido correspondiente, por 100 kilogramos, al grado aparente									
	1121,9	1131,2	1131,5	1131,8	1141,2	1141,5	1141,9	1151,2	1151,5	1161,0
Grados corregidos a razón de la temperatura o riqueza en alcohol a 15°										
0	76.0	77.6	78.6	79.0	80.6	81.6	82.8	83.6	84.5	85.5
1	76.2	77.2	78.2	79.2	80.2	81.2	82.2	83.2	84.2	85.1
2	75.9	76.9	77.9	78.9	79.9	80.9	81.9	82.9	83.8	84.7
3	75.5	76.5	77.5	78.5	79.5	80.5	81.5	82.5	83.4	84.4
4	75.1	76.1	77.1	78.1	79.1	80.1	81.1	82.1	83.0	84.0
5	74.8	75.7	76.7	77.7	78.7	79.7	80.7	81.7	82.7	83.7
6	74.4	75.3	76.3	77.3	78.3	79.3	80.3	81.3	82.3	83.3
7	74.0	75.0	76.0	77.0	78.0	79.0	80.0	81.0	82.0	82.9
8	73.6	74.6	75.6	76.6	77.6	78.6	79.6	80.6	81.6	82.6
9	73.3	74.2	75.2	76.2	77.2	78.2	79.2	80.2	81.2	82.2
10	72.9	73.9	74.9	75.9	76.9	77.9	78.9	79.9	80.9	81.9
11	72.6	73.5	74.5	75.5	76.5	77.5	78.5	79.5	80.5	81.5
12	72.2	73.1	74.1	75.1	76.1	77.1	78.1	79.1	80.1	81.1
13	71.8	72.8	73.8	74.8	75.8	76.8	77.8	78.8	79.8	80.8
14	71.4	72.4	73.4	74.4	75.4	76.4	77.4	78.4	79.4	80.4
15	71.0	72.0	73.0	74.0	75.0	76.0	77.0	78.0	79.0	80.0
16	70.6	71.6	72.6	73.3	74.6	75.6	76.6	77.6	78.6	79.6
17	70.2	71.2	72.2	73.2	74.2	75.2	76.2	77.2	78.2	79.2
18	69.8	70.8	71.8	72.8	73.8	74.9	75.9	76.9	77.9	78.9
19	69.5	70.5	71.5	72.5	73.5	74.5	75.5	76.5	77.5	78.5
20	69.1	70.1	71.1	72.1	73.1	74.1	75.1	76.1	77.1	78.1
21	68.7	69.7	70.7	71.7	72.7	73.7	74.7	75.8	76.8	77.8
22	68.3	69.3	70.3	71.3	72.3	73.3	74.3	75.4	76.4	77.4
23	67.9	68.9	70.0	71.0	72.0	73.0	74.0	75.0	76.0	77.0
24	67.5	68.5	69.6	70.6	71.6	72.6	73.6	74.6	75.6	76.6
25	67.1	68.1	69.2	70.2	71.2	72.2	73.2	74.2	75.3	76.3
26	66.7	67.7	68.8	69.8	70.8	71.8	72.8	73.8	74.8	75.9
27	66.3	67.3	68.4	69.4	70.4	71.4	72.4	73.4	74.4	75.5
28	66.0	67.0	68.0	69.1	70.1	71.1	72.1	73.1	74.1	75.1
29	65.6	66.6	67.7	68.7	69.7	70.7	71.7	72.7	73.7	74.7
30	65.2	66.2	67.3	68.3	69.3	70.3	71.3	72.3	73.3	74.3

TABLA II (Continuación)

Grados del termómetro.....	GRADOS APARENTES DEL ALCOHOMETRO									
	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
	Volumen del líquido correspondiente, por 100 kilogramos, al grado aparente									
	116 ¹ ,3	116 ¹ ,7	117 ¹ ,1	117 ¹ ,5	117 ¹ ,9	118 ¹ ,3	118 ¹ ,8	119 ¹ ,2	119 ¹ ,7	120 ¹ ,1
	Grados corregidos a razón de la temperatura o riqueza en alcohol a 15°									
0	86.4	87.4	88.3	89.2	90.2	91.2	92.2	93.1	94.0	95.0
1	86.1	87.0	88.0	89.0	89.9	90.8	91.8	92.8	93.7	94.6
2	85.7	86.6	87.6	88.6	89.6	90.5	91.5	92.4	93.4	94.3
3	85.3	86.3	87.3	88.3	89.2	90.2	91.2	92.1	93.0	94.0
4	85.0	86.0	87.0	88.0	88.9	89.9	90.8	91.8	92.7	93.7
5	84.7	85.6	86.6	87.6	88.5	89.5	90.5	91.4	92.4	93.3
6	84.3	85.3	86.3	87.3	88.2	89.2	90.1	91.0	92.0	93.0
7	83.9	84.9	85.9	86.9	87.9	88.8	89.8	90.7	91.7	92.6
8	83.6	84.6	85.6	86.5	87.5	88.5	89.4	90.4	91.2	92.2
9	83.2	84.2	85.2	86.2	87.1	88.1	89.1	90.0	91.0	92.0
10	82.8	83.8	84.8	85.8	86.8	87.8	88.7	89.7	90.7	91.7
11	82.5	83.4	84.4	85.4	86.4	87.4	88.4	89.4	90.4	91.4
12	82.1	83.1	84.1	85.0	86.0	87.0	88.0	89.0	90.0	91.0
13	81.3	82.3	83.3	84.3	85.7	86.7	87.7	88.7	89.7	90.7
14	81.4	82.4	83.4	84.4	85.4	86.4	87.4	88.3	89.3	90.3
15	81.0	82.0	83.0	84.0	85.0	86.0	87.0	88.0	89.0	90.0
16	80.6	81.6	82.6	83.6	84.6	85.6	86.6	87.6	88.6	89.6
17	80.2	81.2	82.2	83.2	84.2	85.2	86.2	87.2	88.2	89.2
18	79.9	80.9	81.8	82.9	83.9	84.9	85.9	86.9	87.9	88.9
19	79.5	80.5	81.6	82.6	83.6	84.6	85.6	86.6	87.6	88.6
20	79.1	80.1	81.2	82.2	83.2	84.2	85.2	86.2	87.2	88.2
21	78.7	79.7	80.8	81.8	82.8	83.8	84.8	85.9	86.9	87.9
22	78.4	79.4	80.4	81.4	82.4	83.4	84.4	85.5	86.5	87.6
23	78.0	79.0	80.1	81.1	82.1	83.1	84.1	85.1	86.1	87.2
24	77.6	78.6	79.7	80.7	81.7	82.7	83.7	84.7	85.7	86.8
25	77.3	78.3	79.3	80.3	81.3	82.3	83.4	84.4	85.4	86.5
26	76.9	77.9	78.9	79.9	80.9	81.9	82.9	84.0	85.0	86.1
27	76.5	77.5	78.5	79.5	80.5	81.6	82.6	83.6	84.7	85.7
28	76.1	77.1	78.2	79.2	80.2	81.3	82.3	83.3	84.3	85.4
29	75.7	76.8	77.8	78.8	79.8	80.9	81.9	83.0	84.0	85.0
30	75.3	76.4	77.4	78.4	79.4	80.5	81.5	82.6	83.6	84.7

TABLA II (Continuación)

Grados del termómetro...	GRADOS APARENTES DEL ALCOHOMETRO									
	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
	Volumen del líquido correspondiente, por 100 kilogramos, al grado aparente									
	1201,6	1211,1	1211,6	1221,2	1221,8	1231,4	1241,0	1241,7	1251,4	1261,2
	Grados corregidos a razón de la temperatura o riqueza en alcohol a 15°									
0	95.9	96.8	97.7	98.6	99.5	100.3	101.2	•	•	•
1	95.6	96.5	97.4	98.3	99.2	100.0	100.9	•	•	•
2	95.2	96.1	97.0	97.9	98.9	99.8	100.7	•	•	•
3	94.9	95.8	96.7	97.7	98.6	99.5	100.4	•	•	•
4	94.6	95.5	96.4	97.4	98.3	99.2	100.1	101.0	•	•
5	94.3	95.2	96.2	97.1	98.0	98.9	99.8	100.7	•	•
6	93.9	94.9	95.9	96.8	97.7	98.7	99.6	100.5	•	•
7	93.6	94.6	95.6	96.5	97.4	98.4	99.3	100.2	•	•
8	93.3	94.3	95.3	96.2	97.1	98.1	99.0	99.9	•	•
9	93.0	94.0	95.0	95.9	96.8	97.8	98.7	99.7	100.6	•
10	92.7	93.7	94.7	95.6	96.5	97.5	98.5	99.4	100.4	•
11	92.4	93.3	94.3	95.3	96.2	97.2	98.2	99.1	100.1	•
12	92.0	93.0	94.0	95.0	95.9	96.9	97.9	98.8	99.8	•
13	91.7	92.7	93.7	94.6	95.6	96.6	97.6	98.6	99.5	•
14	91.3	92.3	93.3	94.3	95.3	96.3	97.3	98.3	99.3	•
15	91.0	92.0	93.0	94.0	95.0	96.0	97.0	98.0	99.0	100.0
16	90.7	91.7	92.7	93.7	94.7	95.7	96.7	97.7	98.7	99.7
17	90.3	91.3	92.4	93.4	94.4	95.4	96.4	97.4	98.5	99.5
18	89.9	91.0	92.0	93.0	94.0	95.1	96.1	97.1	98.2	99.2
19	89.6	90.7	91.7	92.7	93.7	94.8	95.8	96.9	97.9	98.9
20	89.2	90.3	91.3	92.4	93.4	94.5	95.5	96.6	97.6	98.6
21	88.9	90.0	91.0	92.0	93.1	94.1	95.2	96.3	97.3	98.4
22	88.6	89.6	90.7	91.8	92.8	93.9	94.9	96.0	97.0	98.1
23	88.3	89.3	90.4	91.4	92.4	93.5	94.6	95.7	96.7	97.8
24	87.9	88.9	90.0	91.1	92.1	93.2	94.3	95.3	96.4	97.5
25	87.5	88.6	89.7	90.7	91.8	92.9	93.9	95.0	96.1	97.2
26	87.2	88.2	89.3	90.4	91.5	92.5	93.6	94.7	95.8	97.0
27	86.8	87.9	89.0	90.0	91.1	92.2	93.3	94.4	95.5	96.7
28	86.5	87.5	88.6	89.7	90.8	91.9	93.0	94.1	95.2	96.4
29	86.1	87.2	88.2	89.3	90.4	91.6	92.7	93.8	94.9	96.1
30	85.8	86.9	87.9	89.0	90.1	91.2	92.4	93.5	94.6	95.8

TABLA III

GRADO ALCOHÓLICO DE LOS VAPORES QUE EMITE UN LÍQUIDO ALCOHÓLICO
EN EBULLICIÓN A LA PRESIÓN DE 760 MILÍMETROS, SEGÚN BERGSTRÖM

L I Q U I D O				V A P O R	
Alcohol en peso <i>d</i>	Grado G. L.	Temperatura de ebullicion	Peso específico a 15° C.	Alcohol en peso <i>δ</i>	Grado G. L.
0.001	0.0012				
0.01	0.0125			0.11	0.1375
0.05	0.0625			0.55	0.69
0.10	0.125			1.1	1.375
0.40	0.5	99.48	0.9992	4.52	5.65
0.50	0.625	99.36	0.999	5.7	7.1
1	1.25	98.78	0.998	10.5	13
1.5	1.875	98.2	0.9972	14.75	18.16
2	2.5	97.78	0.9963	18.5	22.65
2.5	3.125	97.35	0.9954	22.5	27.43
3	3.75	96.88	0.9946	26.3	31.88
3.5	4.375	96.4	0.9937	28.5	34.43
4	5	95.8	0.9928	31.2	37.53
4.5	5.625	95.4	0.9921	33.5	40.12
5	6.25	95	0.9913	36	42.91
5.5	6.9	94.63	0.9905	38	45.11
6	7.49	94.16	0.9897	39.8	47.08
6.5	8.1	93.66	0.989	41.5	48.9
7	8.714	93.3	0.9883	43.3	50.82
7.5	9.325	92.95	0.9875	45	52.62
8	9.94	92.6	0.9867	46.3	53.98
8.5	10.56	92.27	0.986	47.8	55.53
9	11.16	91.78	0.9854	49.2	56.97
9.5	11.77	91.55	0.9847	50.4	58.19
10	12.39	91.3	0.9842	51.6	59.4
15	18.48	88.6	0.9779	60	67.64
20	24.46	87	0.9717	65.5	72.82
25	30.36	85.7	0.9653	69	75.95
30	36.16	84.7	0.9579	71.2	77.91
35	41.8	83.85	0.9494	72.8	79.31
40	47.29	83.1	0.9399	74	80.35
45	52.62	82.55	0.9297	75.4	81.55
50	57.78	81.9	0.919	76.7	82.67
55	62.8	81.4	0.9078	77.8	83.50
60	67.64	81.05	0.8965	78.9	84.5
65	72.32	80.6	0.8849	80	85.41
70	76.85	80.2	0.873	81.7	86.79
75	81.21	79.75	0.8611	83.5	88.24
80	85.41	79.5	0.8489	85.5	89.8
81	86.21	79.4	0.8467	85.95	90.16
82	87.04	79.3	0.844	86.5	90.57
83	87.85	79.18	0.8415	87.1	91.04
84	88.63	79.15	0.8390	87.5	91.33
85	89.41	79.12	0.8365	88	91.71
86	90.18	79.08	0.834	88.6	92.17
87	90.95	79.03	0.8314	89.2	92.62
88	91.71	78.98	0.8288	89.8	93.07
89	92.47	78.93	0.8261	90.5	93.5
90	93.25	78.88	0.8234	91.2	94.09
91	93.94	78.83	0.8208	91.9	94.45
92	94.67	78.78	0.8181	92.6	95.1
93	95.38	78.73	0.8153	93.4	95.66
94	96.08	78.68	0.8124	94.2	96.22
95	96.77	78.63	0.8096	95	96.77
96	97.44	78.58	0.8067	96	97.44
97	98.1	78.53	0.8037	97	98.1
98	98.75	78.48	0.8006	98	98.75
99	99.38	78.43	0.797	99	99.38
100	100	78.35	0.794	100	100.00

TABLA IV

CORRECCIONES POR TEMPERATURA PARA LECTURAS HECHAS EN EL HIDROMETRO -

DE BRUX, A 20°C

Temp. °C	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	
R E S T E S E	15	0.20	.22	.24	.26	.28	.30	.32	.33	.34	.36
	16	.17	.18	.20	.22	.23	.25	.26	.27	.28	.28
	17	.13	.14	.15	.16	.18	.19	.20	.20	.21	.21
	18	.09	.10	.10	.11	.12	.13	.13	.14	.14	.14
	19	.05	.05	.05	.06	.06	.06	.07	.07	.07	.07
S U M E S E	21	.04	.05	.06	.06	.06	.07	.07	.07	.07	.08
	22	.10	.10	.11	.12	.12	.13	.14	.14	.14	.15
	23	.16	.16	.17	.17	.19	.20	.21	.21	.22	.23
	24	.21	.22	.23	.24	.26	.27	.28	.29	.30	.31
	25	.27	.28	.30	.31	.32	.34	.35	.36	.38	.38
26	.33	.34	.36	.37	.40	.40	.42	.44	.46	.47	
27	.40	.41	.42	.44	.46	.48	.50	.52	.54	.54	
28	.46	.47	.49	.51	.54	.56	.58	.60	.61	.62	
29	.54	.55	.56	.59	.61	.63	.66	.68	.70	.70	
30	.61	.62	.63	.66	.68	.70	.73	.76	.78	.78	
35	.99	1.01	1.02	1.06	1.1	1.13	1.16	1.18	1.20	1.21	
40	1.42	1.45	1.47	1.51	1.54	1.57	1.62	1.62	1.64	1.65	
45	1.91	1.94	1.96	2.00	2.03	2.05	2.07	2.09	2.10	2.10	
50	2.46	2.48	2.50	2.53	2.56	2.57	2.58	2.59	2.59	2.58	

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- " Alcohol from Petroleum ", Chem. & Met. Eng., 52, No. 11, - 96-98 (1945).
- 2.- Appleby, M.P., Glass, J.V.S., y Horsley, G.P. J.Soc. Chem. Ind 56, 79T (1937).
- 3.- Aries, E.S., Chem. Eng. News, 25, 1792 (1947).
- 4.- Bell, H.S., American Petroleum Refining, D. Van Nostrand Company, Inc. 3a. Ed. pp. 605 (1945).
- 5.- Boyer, J.W., & Underkofler, L.A., Chem. & Met. Eng., 52, No.12 pp. 110-111 (1945).
- 6.- Stallings et. al., Chem. Eng. Developments in Grain Distillery A.I.Ch.E., 38, 791 (1942).
- 7.- Grain Alcohol without Malt, CW. 68 (3), 19 (1951).
- 8.- Guinot, H. M. Chimie & Industrie, 46, 283 (1941).
- 9.- Verlinden, H., y Baetsle, R.: Guide pratique de fabrication - de levure presee et de distillerie, (1945).
- 10.- Cf. Michaelis, Chemistry of Alcoholic Fermentation, I & EC, 27 1037 (1935).
11. Cf. Prescott and Bunn, Industrial Microbiology, 3a. Ed. Chap.- 4, Mc. Graw Hill, (1959).
12. Blom et. al.: Ind. Eng. Chem., 44: 435 (1952).
13. Kretzchmar: " Levaduras y Alcoholes ", Ed. Reverté, S.A., - - (1961).
14. Ibid.
15. A.J. Kluyver, " The Chemical Activity of Microorganisms ", Uni

versity of London Press Ltd., London (1931).

- 16.- Dunn, P.M.: Industrial Alcohol from wood waste, Chem. Products
Nov.-Dec. 1945
- 17.- Leonard, E.H., and G.J. Hajny: Fermentation of wood sugars to
Ethyl Alcohol, Ind. Eng. Chem., 37; 390-395 (1945).
- 18.- Jorgensen, A.: "Practical Management of Pure Yeast", revised-
by Albert Hansen, Charles Griffin and Co., Ltd., London, 1936
- 19.- Ibid.
- 20.- Palacio Llamas, H.: "Fabricación de Alcohol", Salvat Editores,
S.A., Barcelona, 1956.
- 21.- Ibid.
- 22.- Ibid.
- 23.- Ibid.
- 24.- L.C. Hao. and J.A. Jump, Ind. Eng. Chem., 37: 521 (1945).
- 25.- Maxon and Johnson: Ind. Eng. Chem., 45: 2554 (1953).
- 26.- Perkins, J.C.: " Principles and Methods of Sterilization", -
Charles C. Thomas., Publisher, Springfield Ill., 1956
- 27.- Ibid.
- 28.- C.A. Crampton and L.M. Tolman Jour. Am. Chem. Soc, 30: 98 -
(1908).
- 29.- J. Ocón G. y G. Tojo B., "Problemas de Ingeniería Química".
Tomo I Ed. Aguilar Madrid, 1968
- 30.- F. Molyneux "Ejercicios de Laboratorio de Ingeniería Química"
Ed. Blume, Madrid, 1969