

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

PROCESO CERVECERO

T E S I S
Que Para Obtener el Título de
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A

DIONISIO WADIA PURON BITAR

1 9 7 7



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.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

CLAS. TESIS

ADQ. _____

FECHA 1977

PROC. 337

407



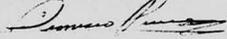
LIBRO DE REGISTRO DE TESIS DE GRADUACIÓN
FACULTAD DE QUÍMICA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

MEXICO - D.F. - 1977

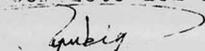
PRESIDENTE: PROFESOR CARLOS DEL RIO ESTRADA
VOCAL : " ALFREDO ECHEGARAY ALEMAN
SECRETARIO: " GASPAR RUBIO PARENTE
1er. SUPLENTE: " JORGE SOTO SORIA
2o. SUPLENTE: " JOSEFINA DE GIVES MARSILLAC

Sitio donde se desarrolló el tema: CERVECERIA MODELO S.A.

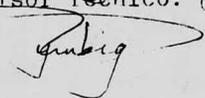
Nombre completo del sustentante: DIONISIO WADIA PURON BITAR

Firma: 

Nombre completo del asesor: GASPAR RUBIO PARENTE

Firma: 

Supervisor Técnico: GASPAR RUBIO PARENTE

Firma: 

A MIS QUERIDOS PADRES
CON TODO MI CARÍÑO

A MI ESPOSA Y A MI HIJO
CON TODO MI AMOR

ELABORACION DE CERVEZA

El objetivo del presente trabajo no es unicamente el diseño de una planta cervecera, sino proporcionar a la persona que busque información, una explicación sencilla y completa, hasta donde sea posible, de los conocimientos requeridos por un Ingeniero Químico que trabaje en este tipo de procesos fermentativos.

Se tratará de dar explicaciones claras y detalladas de cada uno de los pasos requeridos para la fabricación de cerveza, así como algunos antecedentes y datos que pudieran ser útiles para comprender la importancia del correcto desarrollo del proceso, así como también de la adecuada selección de las materias primas utilizadas en el mismo.

Este trabajo se dividirá en la forma siguiente:

Historia.

Generalidades.

Materias Primas.

Operaciones.

Aspectos termodinámicos y balance de materia para el diseño de una planta.

Aspectos económicos.

Factores sanitarios y control microbiológico del proceso.

HISTORIA

El origen de las bebidas alcohólicas nutritivas hechas a base de fermentación de granos, es tan remoto como el cultivo de los cereales. Parece ser que la primera región en la que se elaboró cerveza, fué la Mesopotamia, 3 000 años antes de nuestra era. Diódoro y Herodoto elogiaban la cerveza denominándola "vino de malta". El lógico suponer que los métodos de elaboración hayan sido primitivos; pero sin embargo, ya en esas épocas se exigía que fuese brillante y clara y para este efecto se sometía al filtrado de arcillas

Paulatinamente el consumo de esta cerveza rudimentaria dejó de estar confinado a la región mesopotámica, extendiéndose a numerosos pueblos que la adoptaron como su bebida predilecta; 700 años A.C. el griego Archilochols habla de la bebida que preparaban los frigios y los tracios, con cebada y especias (para sustituir al lúpulo hasta entonces desconocido); Xenofonte narra de los moradores de las riberas del mar Muerto que elaboraban un "vino de cebada"; y Plinio se refiere a la "Cervisia" que se producía en España y en la parte septentrional de Africa.

Los Egipcios la perfeccionaron añadiéndole pequeñas cantidades de lúpulo, el cual aún ahora se utiliza en su elaboración y que es el que le confiere su sabor ligeramente amargo y refrescante. De la península Helénica y las islas que la rodean, los Romanos adquirieron la costumbre de beber cerveza, si bien dejando para sus festines las aguas acres de la cidra y el vino.

Lo cual nos demuestra como desde la más remota antigüedad la cerveza no ha sido considerada como una bebida intoxicante.

Simultaneamente que se fue generalizando el consumo de la cerveza en todos los pueblos de la antigüedad, civilizados y bárbaros, fueron descubriéndose las cualidades de la cerveza como eficaz reconstituyente y como elemento tonificante.

Durante la Edad Media en la parte septentrional de Europa la cerveza cobró singular arraigo. De la antiquísima palabra alemana "Bior" se derivó el moderno vocablo inglés "Beer" o cerveza. Esta de pronto desplazó al agua miel que era la bebida popular, y como progresivamente fueron depurándose los procedimientos para su elaboración, hasta generalizarse el agregado de lúpulo para aromatizarla en el siglo XIII, el resultado fué de que casi todas las demás bebidas quedaron eliminadas, excepción hecha del vino del Rin. La cerveza se hizo desde entonces la bebida Europea por excelencia.

Pese a su antigüedad y lo amplio de su difusión, la elaboración comercial de la cerveza tuvo poca importancia en el continente Europeo, hasta antes del siglo XVI. Durante el medioevo, fué más bien una labor familiar, frecuentemente encomendada a la mujer o un privilegio de los monasterios. Hubo monjes que cobraron gran fama por la cerveza que elaboraban. Sin embargo los campesinos y burgueses aprendieron pronto a hacer cerveza y se constituyeron en uniones gremiales.

Con la culminación del Renacimiento, viene aparejada la época de los grandes descubrimientos geográficos y entonces la cerveza toma un importante papel en las travesías marítimas. Dado lo prolongado de aquellos viajes el agua se hacía im potable, y fué rápidamente substituida por la cerveza que se conservaba por períodos más largos, brindando a la vez, importantes elementos nutritivos que les ayudaban a prevenir las enfermedades a las que frecuentemente se hallaban expuestos los marinos, a causa de las deficiencias alimenticias.

Hacia 1623 se estableció, por parte de la entonces existente "Compañía Holandesa de las Indias Orientales" la primera cervecería en la isla de Manhattan, hoy Nueva York. En Norteamérica como en Europa la cerveza comenzó a ser la bebida del pueblo.

En el México Precolombino existían algunas bebidas, que dentro de lo rudimentario de su preparación, tenían cierta similitud con la cerveza. Una de ellas, era el tesgüino o izquite, otra el sendecho que según Orozco y Berra era semejante a la cerveza de los antiguos germanos solo que estos utilizaban cebada en vez de maiz.

Cuando el conquistador Alfonso de Herrera fué a llevar gran variedad de presentes al emperador Carlos V, le pidió como merced que lo dejara elaborar cerveza en México, cosa que le fué permitida y para cuya manufactura, trajo Herrera, oficiales expertos; en 1554 estaba funcionando con éxito la primera cervecería de la Nueva España.

Años más tarde (1825) comienzan a proliferar pequeñas fabricas de cerveza en el interior del país. En 1845 se fundan en la capital las cervecerías " La pila seca " y

"La Candelaria", ambas producían cervezas de fermentación alta. Cabe citar que la malta que entonces se empleaba era cebada mexicana, secada al sol.

Fué en Toluca donde se empezó a elaborar cerveza Lager en México. En el año de 1890 nace en Monterrey la Cervecería Cuahutemoc S.A. y en Orizaba la Cervecería Moctezuma que fueron las primeras grandes cervecerías del país.

El 1925 empezó a funcionar la Cervecería Modelo en la Capital de la República y con ella quedaría consolidada la importante Industria Cervecera Nacional.

GENERALIDADES

La fabricación de bebidas ligeramente alcohólicas mediante la fermentación con levadura de las materias naturales que contienen almidón, ha sido practicada desde tiempos muy remotos por todas las razas humanas, sus orígenes y su química guardan estrecha relación con la fabricación del pan. Se diferencia del también muy antiguo arte de fabricar vino, en que requiere la transformación química de las féculas para producir los azúcares fermentables por la levadura. En la fabricación del vino, los azúcares existen ya en el jugo del fruto maduro y son utilizados como materia prima. [La cerveza, producto final del proceso de fabricación, es en esencia una solución acuosa carbónica con cantidades variables de alcohol azúcares no fermentados y dextrinas, sustancias proteínicas y componentes aromáticos derivados de la malta, el lúpulo y la levadura empleados en su fabricación. Como componentes secundarios contiene sales inorgánicas, subproductos metabólicos de la levadura, vitaminas, indicios de hierro y cobre, materias extractivas vegetales menos conocidas.]

La materia prima principal para la fabricación de cerveza es el almidón. Es necesario convertir este almidón en azúcares para que la levadura pueda utilizarlo. En la fermentación de los azúcares por la levadura se forman principalmente alcohol y dióxido de carbono. Durante la fabricación de la cerveza el almidón es convertido en azúcares por medio de complicadas reacciones enzimáticas. En la germinación de las semillas de diversas plantas, se desarrollan

gran cantidad de enzimas amilolíticas (amilasas), que tienen la propiedad de digerir el almidón y convertirlo en maltosa. Si se detiene la germinación en la fase inicial secando las semillas, al producto resultante se le conoce con el nombre de malta. La malta de cebada es la principal materia para fabricar cerveza y suministra la mayor parte de las enzimas. Con frecuencia se emplean otros ingredientes como pueden ser arroz, cebada, maíz, sorgo, trigo y diversos productos azucarados para reemplazar y suplementar porciones de malta. En algunos países orientales se emplean diversos hongos ricos en enzimas, en lugar de malta, a efecto de convertir el almidón en azúcares fermentables; en otros países se adicionan enzimas directamente a los adjuntos, para reemplazar la acción enzimática de la malta.

En la fábrica se tritura la cebada germinada (malta) hasta convertirla en polvo grueso y se macera en agua. En este punto de la fabricación puede añadirse ciertos ingredientes (como cebada), aunque algunos requieren una cocción preliminar (adjuntos como arroz, maíz, sorgo). Esta masa remojada se hace pasar por un ciclo de calentamiento perfectamente definido para solubilizar las proteínas y convertir el almidón en azúcares y dextrinas (sacarificación), así como para fijar las principales cualidades de la cerveza final. Los granos insolubles se separan por filtración y se riegan con agua caliente (75 a 76 °C). El líquido con las materias solubles (mosto) se une a las lavaduras o aguas de riego y se hierve, a esta mezcla en ebullición se añade el lúpulo. El calor inactiva las enzimas, esteriliza el caldo, extrae del lúpulo los componentes deseados, coagula proteínas y taninos, así como oxalatos de calcio y concentra el caldo has

ta que tiene el contenido deseado de sólidos solubles (extracto).

Después de la cocción, se puede filtrar o no, y se enfría se le añade la levadura y se deja que se produzca espontáneamente la fermentación, controlando las temperaturas para evitar una producción excesiva de aceite de fusel o una atenuación mayor de la deseada.

Para la cerveza propiamente dicha se emplea levadura de fermentación baja, cuyas células caen al fondo de la cuba en el curso de la fermentación; para la cerveza más ligera (tipo ale) se emplea levadura de fermentación alta, cuyas células ascienden a la superficie. Estas levaduras son cepas del género *Saccharomyces*. Cuando ha terminado la fermentación, se translada la cerveza a tanques de almacenamiento para envejecerla y clarificarla a baja temperatura. La filtración y la dilución de gas carbónico (carbonatación) completan el proceso para obtener la cerveza terminada.

TIPOS DE CERVEZA:

Existen dos tipos fundamentales de cerveza: de fermentación baja y de fermentación alta; nombres que derivan del tipo de levadura empleado. Después de la fermentación, la levadura flota en la superficie del líquido o forma sedimentos en el tanque de fermentación. La primera o levadura alta es el tipo primitivo y se utiliza todavía para las cervezas ale, porter y stout. La levadura de fondo se empezó a usar en Munich hacia mediados del siglo XIX y ha encontrado después general aceptación para preparar todas las demás cervezas (del tipo llamado cerveza lager: cerveza de bodega o de fermentación baja).

TIPOS DE FERMENTACION ALTA: La cerveza Ale se originó en las islas Británicas, se fabrica también en el Canadá y los Estados Unidos, en especial en los estados del Noreste. Esta cerveza tiene color pálido, sabor ácido y posee un marcado aroma (bouquet), característico de la fermentación alta debido a la gran cantidad de alcoholes superiores formados. La cerveza Ale inglesa no es gasificada, mientras que la americana está carbonatada, como la cerveza ordinaria.

La cerveza Porter es también de fermentación alta, pero de color más oscuro que la Ale, y tiene más cuerpo.

La Stout es semejante a la Porter, con mayor contenido de alcohol y un aroma acentuado.

TIPOS DE FERMENTACION BAJA: El término alemán "Lager" significa "almacén" y se aplica a las cervezas fabricadas con levadura de fondo, cuya fermentación se completa lentamente teniendo el caldo varios meses en la bodega.

La cerveza Pilsen, original de Bohemia, tiene un color pálido y un sabor seco característico del lúpulo; este nombre se aplica en todos los países a las cervezas claras.

La cerveza Bock se fabricó originalmente en Baviera para celebrar la Pascua de Resurrección, pero la costumbre de preparar en determinada estación del año una cerveza oscura de sabor espeso, fuerte y rico ha sido aceptada generalmente. Los nombres de Munich (München), Kulmach y Würzburg corresponden a cervezas oscuras del mismo tipo que la Bock.

La cerveza americana es clara y más carbonatada que ninguna otra. El público mexicano prefiere la cerveza espumosa, clara y que sea diáfana y limpia aún después de enfriada con hielo. La distribución de la cerveza a través de grandes espacios, en condiciones climáticas variadas, impone muchas exigencias a su estabilidad coloidal.

Por consiguiente, es natural que la cerveza clara del tipo Pilsen, con una estabilidad superior, se haya convertido en el tipo de cerveza mexicana.

MATERIAS PRIMAS

MALTA.-Se da este nombre a un cereal, generalmente cebada, el cual ha germinado por un período de tiempo limitado y cuyo crecimiento embrionario ha sido terminado por secado.

El malteo involucra la germinación del grano hasta que el endospermo (almidón almacenado), ha sufrido alguna degradación enzimática.

Cuando ha llegado a un cierto punto la degradación del endospermo, el maltero termina con la germinación secando el grano.

La malta se puede preparar a partir de cebadas de dos hileras o de seis hileras. La primera se usa generalmente en el cocedor junto con los adjuntos, ya que su menor proporción de cascarilla dará lugar a una menor extracción de taninos (la cocción suele hacerse a temperaturas mayores de 100°C), que impartirían un desagradable amargor a la cerveza terminada. La cebada de seis hileras se adiciona en el macerador, debido a que aún cuando su rendimiento es menor, su mayor proporción de cascarilla nos dará posteriormente un buen lecho filtrante para el macerado o mosto dulce.

Para la producción de cervezas oscuras, se emplean como colorantes maltas especiales, como la caramelo, y negra, que tienen en color y aroma fuertes, debido al tostado, pero poco o ningún poder diastásico. Estas características se logran secando la malta a temperaturas altas, que destruyen gran cantidad de enzimas, pero que también producen muchos melanoides.

Calidad de la malta:

a) El constituyente presente en mayor cantidad en la malta es el almidón, del cual depende principalmente el extracto,

los carbohidratos solubles o azúcares.

b) En segundo lugar están las proteínas y sus productos de degradación; algunos como los péptidos, purinas y aminoácidos de los cuales los nutrientes de la levadura dependen de un modo considerable y tienen por lo tanto gran influencia en la fermentación.

c) En tercer lugar tenemos las hemicelulosas que contribuyen a las propiedades coloidales de la cerveza.

d) Las sustancias minerales, consistiendo principalmente en fosfatos, los cuales reaccionan con el agua cervecera y proveen a la mezcla de un buffer que la ayudará a establecer su pH.

ADJUNTOS .- Los cereales auxiliares tienen importancia en la fabricación de cervezas claras y estables. Por su almidón son una fuente de alcohol, lo mismo que el almidón de la cebada, pero contribuyen poco al color, sabor, aroma, y contenido proteínico de la cerveza. Los cereales con un contenido elevado de aceites, que pueden enranciarse y producir olores o sabores desagradables, se consideran indeseables para la fabricación de cerveza. Así por ejemplo, el maíz en grano no se emplea para fabricar cerveza, pero diversos productos derivados del maíz, de los cuales se ha extraído la mayor parte del aceite, son los auxiliares más importantes.

La sémola refinada o grits obtenida en la molienda húmeda del maíz, es el ingrediente auxiliar más puro y que da el rendimiento más elevado. Sin embargo, la sémola de maíz, obtenida de la molienda en seco, es el auxiliar comunmente empleado. El germen que contiene casi todo el aceite del maíz, es eliminado antes de la molienda. El arroz tiene buenas cualidades para la fabricación de cerveza, puede usarse con la sémola de maíz o en sustitución de ella, según su precio y

la mayor o menor facilidad para adquirirlo.

La sémola de milo (sorgo) y el casabe (harina de mandioca) son sucedáneos aceptables en las épocas de escasez de grano.

El trigo y la cebada no malteada se emplean en algunas cervecerías con regular éxito.

LUPULO.—Se agrega en la olla de cocimientos durante la ebullición del mosto y se emplea para dar a la cerveza su característico sabor amargo y agradable aroma.

En la fabricación de cerveza solo se aprovechan las flores femeninas del lúpulo, que están agrupadas en conos con brácteas entre las flores.

Los conos se recolectan no fecundados y maduros. El componente más útil del lúpulo es la lupulina, una sustancia resinosa, que se encuentra en glándulas pequeñas situadas en la base de cada bráctea.

El aroma de la cerveza se debe en gran parte a los aceites esenciales del lúpulo, la mayoría de los cuales se pierde durante la ebullición del mosto.

La lupulina contiene además resinas suaves y resinas duras. Las resinas suaves están constituidas por ácidos alfa y beta. El valor de un lúpulo en cuanto a calidad de amargor esta dado por los ácidos alfa (humulona, cohumulona y adhumulona) que al isomerizarse durante la ebullición del mosto no darán isoácidos (isohumulona, isocohumulona e isoadhumulona), además del amargor que proporcionan a la cerveza tienen un notable poder antiséptico.

Para extraer las resinas del lúpulo se emplean diversos solventes, siendo los principales: el alcohol metílico, el cloruro de metileno y el hexano. Estos diferentes solventes darán a su vez diferentes concentraciones de ácidos alfa.

Los productos de extracción son más estables que el lúpulo.

culo natural y pueden sustituirlo completamente en la fabricación de cerveza, además de facilitar mucho el almacenamiento.

Ultimamente se ha discutido mucho acerca del valor cervero de los aceites esenciales y algunas compañías producen ácidos alfa puros que se agregan a la cerveza después de la primera filtración con un alto rendimiento. Sin embargo todavía no hay ninguna cervecería que realice toda su adición de lúpulo en esa forma.

LEVADURA.—La levadura utilizada en la fabricación de cerveza puede proceder de cultivos puros (generalmente es así), sin embargo la cepa cervecera está formada por dos, tres o más clases diferentes de levadura, esto es con el fin de lograr el tipo de cerveza deseado y evitar el tener levaduras específicas (poco floculantes que nos darían una pobre atenuación o demasiado floculantes que nos darían una atenuación excesiva).

Ordinariamente la levadura se recupera después de terminada la fermentación y se vuelve a utilizar una y otra vez durante muchas generaciones, hasta que se juzga conveniente renovarla y es entonces cuando se recurre a la cepa original, la cual se propaga de tal manera que sustituya a la anterior, antes de que esta empiece a degenerarse.

La levadura para fermentación alta es esporógena, fermenta a temperaturas altas (15 a 20 °C) y tiende a flotar en la superficie.

La levadura de fondo no suele formar esporas, se adapta bién a la fermentación a bajas temperaturas (11 a 15 °C) y se deposita en el fondo del tanque al terminar la fermentación.

La levadura cervecera se elige, no solo por su poder de fermentación, sino más bién por el sabor que comunica a la cerveza. El comportamiento físico de una cepa de levadura influye en el proceso de fermentación. Algunas levaduras, como se dijo anteriormente, floculan más rápidamente y empiezan a depositar se a medida que aumenta el contenido de alcohol, hacia el fi

nal de la fermentación. Estas levaduras dan buena clarificación natural, pero la cerveza terminada contiene una gran cantidad de extracto fermentable y a menudo carece de estabilidad. Otras cepas de levadura llamadas pulverulentas, muestran poca tendencia a aglutinarse y se depositan lentamente, la cerveza resultante fermentada hasta el fin, tiene buena estabilidad biológica. Las fabricas modernas de cerveza, en las que la clarificación no es problema importante, prefieren este último tipo de levadura.

AGUA.- La naturaleza del agua empleada para preparar cerveza fué objeto de mucha atención en el pasado y se llegó a decir que el éxito en la fabricación de cerveza dependía del empleo de la clase adecuada de agua.

El tipo de sales y su concentración individual tienen un profundo efecto sobre el proceso cervecero; en el macerado, la actividad y estabilidad enzimáticas son influenciadas. Al mismo tiempo, el pH y la concentración de fosfatos en el macerado son fuertemente afectados por sales particulares.

La extracción de sustancias amargas del lúpulo y la precipitación de taninos y proteínas son influenciados por el pH y la concentración de sales en el mosto. La fermentación y el crecimiento de la levadura pueden ser catalizados o inhibidos. Un sumario de los efectos de iones individuales es dado en la siguiente tabla y en otra se da una indicación de las concentraciones de iones individuales para clases particulares de cerveza.

La corrección del pH del agua se puede hacer mediante diferentes ácidos, siendo los de uso más frecuente el sulfúrico y el fosfórico. Los ajustes de la dureza del agua son frecuentemente hechos con sulfato de calcio.

EFFECTOS DE VARIOS IONES PRESENTES EN EL AGUA EN RELACION CON
EL PROCESO CERVECERO

IONES	EFECTO
H^+ y OH^-	Siempre presentes, el pH depende de su relación. Importantes en aguas duras. Con HCO_3^- para dureza temporal. Con SO_4^{2-} para dureza permanente. En el proceso cervecero, importantes en (a) estabilidad de alfa amilasa, (b) precipitación de fosfatos y consecuente acidificación del mosto, (c) floculación y sedimentación de la levadura.
Mg^{++}	Raramente más de 30 mg/lt (Ca^{++} puede ser tanto como 200 mg/lt). Sales más solubles que las de Ca^{++} y por lo tanto menor efecto sobre el pH y sabor, sin embargo el $MgSO_4$ tiene un desagradable gusto en la cerveza. Algunos iones de magnesio se derivan de la malta. Importante para el funcionamiento enzimático.
Na^+ y K^+	Raramente presentes en altas concentraciones; Na^+ importante para el sabor de la cerveza. No afectan la acidez del mosto porque sus fosfatos son solubles.
Fe^{++} o Fe^{+++}	Varían desde trazas hasta 30 gr/lt como bicarbonatos o combinados con material orgánico; debilitan la levadura. Contribuyen a la oxidación de taninos de la cerveza y por ello a la formación de turbidez
Al^{3+}	Trazas en la cerveza debido principalmente a los recipientes de aluminio.
Mn^{2+}	Trazas presentes desde la malta. Importante para la coenzima de la levadura.

IONES	EFECTO
$Pb^{2+}, Zn^{2+}, Cu^{2+}, Sn^{2+}$	Mayormente arrastrados de los recipientes, pueden también venir con el lúpulo. Tóxicos en altas concentraciones a la levadura y también inhiben amilasas y otras enzimas. Contribuyen a formar turbidez.
HCO_3^-	En altas concentraciones afectarán el sabor de muchas formas.
SO_4^{2-}	Contribuyen a dar sabores secos, más amargor. Fuente de SO_2 y H_2S durante la fermentación.
Cl^-	Afecta el sabor. Altera el amargor suavizando y madurando el sabor.
NO_3^-	Parte se reduce a NO_2^- el cual es tóxico a la levadura. Deteriora el sabor.
NH_4^+	Normalmente presente en aguas no potables.

CONCENTRACION DE IONES EN AGUAS CERVECERAS TÍPICAS (N/1000)

IONES	BURTON	DORTMUND	EDINBURBURGH	MUNICH	PILSEN
Na ⁺	1.3	3.0	4.0	0.1	0.1
Mg ²⁺	5.2	1.9	3.0	1.6	0.1
Ca ²⁺	13.4	13.0	7.0	4.0	0.4
NO ₃ ⁻	0.5	----	0.5	0.1	---
Cl ⁻	1.0	3.0	1.7	0.1	0.1
SO ₄ ²⁻	13.7	5,9	4.8	0.1	0.1
CO ₃ ²⁻	4.7	9.0	7.0	55	0.3
(Ca ²⁺ + Mg ²⁺)CO ₃ ²⁻	100/25	100/60	100/70	100/77	100/71
Sales Total	1226	1011	800	273	30.8
p.p.m.					

OPERACIONES EN LA FABRICACION DE CERVEZA

La fabricación de cerveza comprende multitud de procesos químicos, físicos y biológicos que se suceden unos a otros y marchan paralelamente, muchos procesos influyen unos sobre otros. Los métodos tradicionales de fabricación se establecieron por tanteos sucesivos, pero han sido confirmados en un grado sorprendente por los conocimientos adquiridos después sobre las diversas reacciones. La cerveza es un producto coloidal; por consiguiente, es sensible a los cambios en la manera de fabricarlo. Esta es la razón por la cual se sigue con bastante rigor el procedimiento tradicional de fabricación discontinua o por partidas; aunque existen algunas cervecerías que operan en forma continua, esto no ha dado muy buenos resultados.

En las cervecerías la malta es almacenada en silos, de los cuales mediante transportadores neumáticos o mecánicos pasa al sistema de molienda.

Antes de entrar a los molinos la malta es cribada para separar impurezas que pudieran afectar el producto o el equipo (piedras, cascarilla, grano roto, pedazos de metal, etc).

Los molinos cerveceros más usados son los de 6 pares de rodillos, en los cuales es separada la cascarilla (sin sufrir deterioro), gracias a la entrada longitudinal del grano al primer par de rodillos, y saliendo un producto final de sémolas fina y gruesa, harina y cascarilla.

La sémola resultante de la molienda debe ser lo más gruesa posible para acelerar la posterior operación de filtrado, sin embargo cuando la malta es sobremente modificada es conveniente hacer una molienda más fina para evitar que disminuya la eficiencia del proceso.

En cuanto a la molienda de adjuntos, la principal es la de arroz; el maíz se convierte en griz, o sea, harina de maíz en molinos especiales (así lo adquiere la cervecería), el arroz debe ser molido finamente para facilitar la acción enzimática de la alfa-amilasa en el cocedor.

Ultimamente ha tomado gran impulso la molienda húmeda (principalmente en aquellas cervecerías que usan cebada como adjunto); esta consiste en someter al grano a un remojo previo a la molienda y de esta forma facilitar el desprendimiento de la cascarilla, siendo este tipo de molienda el más eficiente de los conocidos.

MACERACION

El proceso de maceración tiene como objeto el obtener un extracto de la mezcla de maltas, agua y adjuntos a temperaturas apropiadas. Solo un bajo porcentaje de extracto total (10-15%) es disuelto sin que se lleve a cabo una acción enzimática en el proceso de maceración.

Para llevar a cabo las diferentes reacciones que ocurren disponemos de un cierto equipo especial como son el cocedor y el macerador.

El cocedor es un tanque reactor de dimensiones variables dependiendo de la capacidad de producción, provisto de un sistema de agitación y un sistema de calentamiento. En este reactor se llevan a cabo la gelatinización y licuefacción del almidón proveniente de las diferentes materias primas. La temperatura de gelatinización varía con el tipo de almidón y el tamaño de los gránulos, esto se observa fácilmente debido a los cambios de viscosidad que sufre una suspensión de almidón al ir elevando gradualmente la temperatura, durante estos momentos se lleva a cabo una hinchazón de la molécula y esto es

más claramente observado en un microscopio.

La licuefacción del almidón es una reacción enzimática. Algunos investigadores atribuyeron que la licuefacción se debía a la presencia de agentes licueficantes especiales como son la fosfatasa y la amilofosfatasa. Hoy en día se ha aclarado que la licuefacción se debe a la acción enzimática de la alfa-amilasa. En la práctica se ha observado que no puede llevarse a cabo una licuefacción si no ha habido previamente una gelatinización. Durante la licuefacción ocurre un rompimiento de las moléculas. Este proceso es influenciado por la temperatura y el pH. La temperatura óptima de la alfa-amilasa es de 70°C con un pH de 5.8, así mismo es rápidamente destruida a 80°C. Sin embargo, las enzimas de origen bacteriano resisten temperaturas arriba de 90°C.

El macerador también es un tanque reactor de dimensiones variables dependiendo de la capacidad de producción y en función de la capacidad del cocedor. Se encuentra también provisto de un sistema de agitación y calentamiento.

Durante el macerado se lleva a cabo una etapa denominada peptonización, la cual ocurre entre los 45 50°C y no es más que la degradación de la materia nitrogenada. Al degradar la materia nitrogenada tendremos una elevación en el contenido de nitrógeno-formol, esto es debido a la acción de las proteinasas.

Previo a esto tenemos una pausa a 30°C denominada reposo láctico, en la cual se busca la solubilización del cuerpo harinoso de la malta. No es conveniente que esta pausa sea prolongada porque se corre el peligro de que el pH decaiga demasiado, saliéndose de los óptimos para la acción enzimática.

Solo se justifica una pausa prolongada en el caso de que tengamos maltas mal modificadas; la sacarificación es la conversión del almidón licuado a dextrinas y maltosa, y puede solamente tener lugar si anteriormente el almidón fue licuado. Para llevar a cabo una sacarificación se requiere de la acción conjunta de las enzimas alfa y beta amilasas. Los productos primarios de las amilasas son las amilodextrinas, las cuales dan un color púrpura a café con el iodo. Este es seguido por la formación de eritrodextrinas que dan un color de café a violeta con el iodo; acrodextrinas se producen en el siguiente paso y no dan coloración y finalmente estas son degradadas a maltosa y dextrinas de bajo peso molecular. Puede decirse que la sacarificación se llevó a cabo cuando no da coloración con el iodo.

La alfa-amilasa es más resistente a la temperatura que la beta-amilasa, queda en el rango de 60-65°C y su óptimo pH es de 5.4, siendo destruída a 75°C, por lo tanto para obtener un mosto rico en maltosa una pausa entre 60 y 65°C le favorecería.

- ENZIMAS DE IMPORTANCIA PRACTICA -

Enzima	Temp. ópt. °C	pH ópt.
Amilofosfatasa	65-70	4.7
Alfa-amilasa	70	5.7
Beta-amilasa	60-65	5.4
Proteinasa	50	4.3
Peptidasa	45	8.1
Citasa	35-40	5.0
Fitasa	60	5.2

DIFERENTES FUENTES DE ALMIDON Y SUS RANGOS DE
TEMPERATURAS DE GELATINIZACION

	T°C
Trigo	52-64
Papa	56-69
Cebada	60-62
Malta	64-67
Maíz	62-74
Arroz	65-85
Sorgo	68-78

En la gráfica adjunta se observan claramente los rangos de actividad enzimática durante el macerado.

Existen dos métodos principales de maceración:

Método de Decocción

Método de Infusión

En el método de decocción se principia a temperaturas menores a 40°C, después una tercera parte se separa y se hierve durante determinado tiempo (30 a 60 min.) y se regresa a la porción principal, elevandose la temperatura de esta porción y así se repite este proceso las veces que sea necesario. Puede hacerse por medio de dos maceradores o tres. Primeramente una etapa a 40°C (algo de protéolisis, acción de la fitasa, etc.). A 50°C, protéolisis completa y peptonización. A 60-65°C se lleva a cabo la sacarificación y finalmente a 70-75°C, extracción completa, dextrinización por acción de la alfa-amilasa. En el método de los dos maceradores, generalmente se omite una etapa, siendo esta la de 40°C.

En el producto resultante o cerveza terminada, obtendríamos como diferencia entre uno y otro método, el color, siendo para el proceso de tres maceradores más acentuado este.

Por otro lado tenemos que en este método, las enzimas de la porción que se hierve son por supuesto destruidas, pero durante el calentamiento para hervir siempre ejercen una cierta actividad, durante la ebullición las paredes celulares son ablandadas y rotas y el almidón es completamente licuado, de esta manera la acción de las diastasas en el macerado es favorecida y esto origina una mayor extracción.

En el método de infusión, que es el conocido y trabajado más usualmente, se mantienen las temperaturas óptimas por mayor tiempo, la difusión es inhibida por las paredes celulares enteras y así parte de las células se sujetan a solo una más o menos actividad enzimática reducida. Probablemente el sabor del mosto es más fino debido a que las resinas amargas de la cascarilla no son disueltas en el mismo grado que en el método de decocción.

ALGUNAS PROPIEDADES ENZIMATICAS IMPORTANTES EN EL MACERADO

Las condiciones en el macerador difieren en varios aspectos importantes de aquellos usados normalmente en los estudios de las enzimas, consecuentemente es necesario un conocimiento general de la cinética enzimática.

Las diferencias principales entre el proceso de maceración y las condiciones de laboratorio son las siguientes:

- i) Los sustratos sobre los cuales las mezclas de enzimas están actuando, tales como el almidón o proteína, son heterogéneos y químicamente impuros, estando mezclados con grandes cantidades de otras sustancias.
- ii) Están, mas o menos, insolubles al comenzar el proceso de maceración. En el caso del almidón el sustrato es virtualmente convertido en sustancias solubles antes del final de la maceración.

iii) El macerado es llevado a cabo a temperaturas relativamente altas, cerca de 65.5°C en el proceso de infusión, y a esta temperatura las enzimas son inestables, algunas se comienzan a activar rápidamente, mientras otras sobreviven en grandes cantidades hasta casi el final del macerado.

iv) No solo el complemento enzimático y la composición química se alteran con el tiempo sino también el pH y la temperatura del macerado.

v) El cervecero es responsable de la licuefacción del mosto al final de la maceración. En contraste la bioquímica enzimática es responsable de la velocidad de reacción inicial llevada a cabo a una temperatura, con poca o ninguna inactivación de enzimas y con los reactivos en solución.

Los niveles de sustratos junto con los niveles de coloides protectores tienden a ser destruidos más o menos rápidamente por inactivación térmica, junto con la acción de cualquier enzima proteolítica. Esto depende de:

i) La composición del licor macerado.

ii) La naturaleza de la molienda.

iii) La concentración del macerado.

iv) La temperatura.

v) El tiempo total de maceración altera la composición del macerado y del mosto.

Todas estas variables ejercen sus efectos conjuntos.

La interacción de esos diferentes factores es vista cuando se discute el "Óptimo" para una acción enzimática. Se llama óptimo, las condiciones más favorables de pH, temperatura, etc.; no son constantes verdaderamente invariables, pero son las mejores para las condiciones del conjunto.

FILTRACION DE MOSTO

Existen varios tipos de filtros de mosto, estando entre los más conocidos los Lauter-tub. Dentro de estos tenemos los de fondo claro: Valley Bottom y el Strainer, este último es del tipo de Valley Bottom pero se diferencia por una depresión única.

En el Lauter-tub de fondo plano se obtienen eficiencias del 95% basado esto en el mosto de la olla, en tanto que en el Valley Bottom, se llega a tenerlas del 97% con referencia a la misma base de cálculo.

En el Valley Bottom la última de la cama filtrante que se forma, se encuentra en el rango de 10 a 14 pulgadas y se llegan a construir con diámetros hasta de 36 pies, además, debido a las depresiones que tiene en el fondo verdadero, la recolección del mosto es más eficiente y no es necesario levantar el falso fondo con frecuencia para eliminar los finos que hayan quedado sedimentados, sino que esto se logra introduciendo agua, o sea, por los anillos recolectores. Si se observa este filtro por la parte superior con el fondo falso desarraigado y fuera de su lugar, se verían varios círculos concéntricos localizados en la parte inferior de la depresión, estos círculos corresponden a los anillos recolectores de mosto.

Respecto al Strainer tiene casas de cocimientos en bloque: las del macerador, el filtro y la olla. Estas casas de cocimientos compactas son para producir alrededor de 150 barriles por día; este tipo de unidad se encuentra distribuido de la siguiente forma: en la parte superior se tiene el macerador de tipo horizontal con un agitador helicoidal y además

una chaqueta de calentamiento tubular. Inmediatamente abajo de el macerador sigue el lauter-tub a donde llega el cocimiento por gravedad. En la parte inferior se encuentra la olla, con chaqueta de calentamiento tubular.

En estas unidades el filtro y la olla presentan una superficie lisa, sin ningún equipo interior que pueda interferir o hacer más difícil la limpieza.

Este tipo de unidades compactas se emplea en cervecerías pequeñas de Europa, Africa y Asia; y su ventaja es que son completamente automáticas por lo que un solo operario puede trabajarlas desde un tablero de control.

La unidad de filtración Strainer puede ser vertical u horizontal y básicamente lo que hacen es substituir las placas del falso fondo por barras de forma triangular con perforaciones ranuradas a lo largo de las paredes. La distancia entre barra y barra es de 8 pulgadas aproximadamente y la altura de la barra es de 3 pulgadas. Estas barras se encuentran distribuidas a lo largo del recipiente.

Lo que se busca con este tipo de unidades es distribuir el espesor del lecho filtrante ya que debido a la distancia entre barra y barra, la altura del lecho filtrante será de 4 pulgadas únicamente, proporcionando una velocidad de filtración mayor. Sin embargo, la diferencia del extracto obtenido se reciente. Como un dato práctico, tenemos que se han podido filtrar hasta 900 Hlts. en 55 minutos. Lo mejor desde el punto de vista práctico y económico, es hacer un balance entre la velocidad de filtración y la eficiencia del extracto obtenido y para esto podemos decir que en estas unidades, un tiempo de filtración entre 1.5 y 2 horas, es bueno.

Por lo que respecta a la operación normal de un lauter-

tub, tenemos que al iniciarse esta, se permite que el macerado descansa un tiempo que puede variar entre 5 y 10 minutos. Hecho esto se lleva a cabo una recirculación hasta obtener un mosto brillante el cual ya puede pasar a la olla. Durante el tiempo de reposo de que se habló, se lleva a cabo una distribución de las partículas de acuerdo a su tamaño, en tal forma que las más grandes se depositan en la parte inferior del lecho y las finas en la parte superior (son estas últimas las que generalmente provocan problemas de lentitud en la filtración por disminuir la porosidad del lecho). Al principiar la operación, las cuchillas deben de estar 2 pulgadas adentro de la cama filtrante y la máquina girando, esto hará que se rompa la capa de finos que se encuentra en la superficie y el mosto fluya con mayor facilidad. Deberán irse bajando las cuchillas lentamente y no de golpe, para evitar que los finos se depositen en el fondo y traigan con ello problemas de filtración.

Idealmente entonces se supone que se debería de regular la velocidad de descenso de las cuchillas de tal forma que empezando con la máquina 2 pulgadas dentro del lecho, al terminar la filtración del primer mosto, las cuchillas se encuentren en el fondo.

La operación de riego se inicia cuando se observa que el lecho filtrante queda solo cubierto por una delgada capa de extracto. Durante esta etapa del lavado del bagazo, la difusión del agua para recuperar el extracto que se encuentra adherido a las partículas, ocurre lentamente. El riego puede ser en forma continua o intermitente. Ciertamente, entre menos agua se tenga en la parte superior del lecho, mejor será el resultado. De cualquier forma, el riego se debe iniciar an

tes de que el lecho empiece a secarse. Con respecto a la máquina, esta se debe trabajar lentamente y estar subiendo y bajando constantemente durante todo el riego.

El agua de riego debe estar entre 75 y 77°C para que la velocidad de filtración sea rápida y dure entre 1 y 2 horas, es recomendable no permitir que el agua de riego ya filtrada descienda por debajo de 1.0°Ba, pues si esto sucede, comienza a extraerse sustancias amargas que dan mal sabor a la cerveza. Como norma, la última gota de agua debe conservarse en el rango de 1.0 y 1.5°Ba. Mostos de peso relativamente pequeños van a tener una composición similar a la de mostos de mayor gravedad, sin embargo, cuando el °Ba del agua desciende de 4, entonces los mostos con menor gravedad, van a tener una mayor proporción de compuestos nitrogenados de alto peso molecular y a medida que empieza a disminuir el °Ba, se nota que el pH se incrementa hasta ascender entre el rango de 5.5 a 6.5 y en la misma forma, el contenido de taninos es mayor si se le compara con mostos de mayores gravedades, en tal forma que si se pretende recuperar demasiado extracto a base de permitir que el °Ba del agua final descienda demasiado, la cerveza resultante se va a ver afectada adversamente tanto en la estabilidad coloidal como en la limpieza del sabor.

La presencia del mosto turbio durante la filtración, puede significar la presencia de materiales poco modificados. Si se permite que estos materiales poco modificados pasen a la olla de cocimientos, se va a tener como consecuencia una disminución en ppm de isohumulones resultantes en la cerveza, en tal forma que si se quiere tener la misma cantidad, es necesario aumentar la cantidad de lupulado.

También puede fácilmente encontrarse, que el mosto obte-

nido durante el riego, arrastra sustancias colorantes y esto es fácilmente observable si tomamos una muestra cuando su $^{\circ}\text{Ba}$ sea menor de 4 y tomamos otra muestra del primer mosto y la diluimos hasta tener un $^{\circ}\text{Ba}$ similar, determinamos color en ambas muestras, encontraremos que la diferencia es considerable.

Ocasionalmente se tiene la presencia de eritrodextrinas en el mosto. Es peligroso que estas existan porque pueden servir como una fuente de crecimiento de bacterias y su presencia se puede deber al uso de una malta mal modificada o bien a una molienda poco uniforme, a temperaturas de agua de riego demasiado altas lo que hace que se arrastren fracciones de almidón que no fueron convertidos por completo.

Por último podemos mencionar al filtro prensa; básicamente esta unidad consiste en una serie de marcos y de soportes cubiertos con una tela, estas se comprimen y el grano que se va a separar queda retenido en las telas. Entre sus ventajas tenemos que alcanza eficiencias del orden del 98%. Generalmente su velocidad de filtración es más rápida que la de cualquier otra unidad debido a que el espesor del lecho filtrante no es mayor de 4 pulgadas, la molienda puede ser más fina y así mismo permitir el uso de maltas que no esten adecuadamente modificadas. El espacio que ocupa esta unidad es menor por lo que en el mismo espacio se pueden colocar una unidad que tenga una capacidad mayor que un Lauter-tub.

Entre sus desventajas tenemos que requiere de mayor mano de obra que cualquier otra unidad de filtración y su costo de operación es más alto. El mosto que se obtiene de este tipo de filtros es siempre más turbio debido a la variación de los

poros, y además tiene la tendencia de lavar excesivamente el grano por lo que le da a la cerveza un sabor más astringente.

Se podría añadir como desventaja de los filtros prensa el hecho de que los marcos son de tamaños fijos, de tal forma que si se va a trabajar con cantidades diferentes de volúmenes o materias primas, hay necesidad de reajustarlos, agregando o quitando marcos.

Con relación al agua de riego, si esta es ligeramente ácida o alcalina, no es necesario tratarla; pero si es alcalina, será necesario corregir esta alcalinidad agregando ácido o sales minerales hasta llegar a valores de pH de alrededor de 6.0 entendiéndose que el pH es solo una indicación de la alcalinidad. Al trabajar con este tipo de agua, generalmente lo que se pretende es extraer una menor cantidad de materiales indeseables de la cascarilla durante el riego y como consecuencia de esto mismo, obtener un mosto más claro. Se ha mencionado que esto se puede deber o es derivado de la presencia de polifenoles, ya que estas sustancias al oxidarse, provocan coloraciones rojizas.

Finalmente podemos mencionar que la eficiencia de un cocimiento s_2 calcula por la relación existente entre el extracto obtenido y el extracto teórico original, todo esto multiplicado por 100. Lógico es que el remanente queda en el grano gastado y se puede decir que la operación de filtrado es satisfactoria, cuando el porcentaje de extracto en el grano gastado es de 10% en base seca o 2% en base húmeda.

OLLA DE COCIMIENTOS

En la elaboración de la cerveza, la olla ocupa un lugar muy importante, pues el procedimiento en su manejo, influye considerablemente en la estabilidad y en la naturaleza de la cerveza. Algunos de los principales objetivos de la operación de la olla, son los siguientes:

- a) Coagulación de proteínas
- b) Esterilización del mosto y destrucción de enzimas
- c) Extracción de los principios del lúpulo
- d) Concentración del mosto
- e) Estabilización del mosto para evitar cambios inesperados durante el procesamiento posterior.
- f) Formación de sustancias colorantes

Estos objetivos se logran al aplicar calor al mosto durante el ciclo de procesado de la olla, misma que tiene (entre las más comunes) dos superficies importantes de calentamiento para calentar el mosto que entra aproximadamente a 75°C, el serpentín y el percolador. El serpentín es generalmente utilizado para hacer hervir al mosto durante el llenado de la olla en tanto que cuando está llena, el serpentín se cierra y se usa el percolador, para poder crear así un flujo hirviente que hace que este fluya hacia abajo a lo largo de los dos lados de la olla y hacia arriba por el percolador que está en el centro, con la fuerza suficiente para producir una sobre ebullición y buena circulación. Para lograr y mantener un buen flujo, una vez que se llega al punto de ebullición, se debe hervir vigorosamente.

La única manera de lograr el objetivo de la olla, que acabamos de mencionar, es hirviendo vigorosamente durante un tiempo fijo. Un ciclo típico de ebullición de olla es:

- a) Empezar a llenar la olla con mosto a 75°C del filtro Lauter
- b) Abrir la válvula del vapor del serpentín cuando el mosto que entra lo llegue a cubrir.
- c) Abrir la válvula del vapor del percolador cuando el mosto que entra lo llegue a cubrir.
- d) Hacer que hierva el mosto antes de llegar a la olla.
- e) Agregar el lúpulo.
- f) Cuando la olla este llena, cerrar la válvula de vapor del serpentín, conservando una ebullición vigorosa con el percolador.
- g) Hervir vigorosamente durante el tiempo que se requiera.
- h) Descargar el mosto de la olla.

Rara vez las ollas tiene el mismo rendimiento de ebullición ya que todas tienen características especiales que deben considerarse durante el ciclo de calentamiento. Dichas características son el resultado del diseño original de la superficie de calentamiento de sus modificaciones, de la capacidad de las superficies de calentamiento de vapor y de las demandas de producción que forzan el nivel del mosto hasta el borde de la olla.

La eficiencia de una olla también puede ser debida a la destreza del operario. Por ello, nunca está de más insistir en la capacidad práctica de los operarios para poder tener buenos expertos en el manejo de las ollas, lo cual es esencialmente necesario para la elaboración de una cerveza de calidad.

Cuando el control que se ejerce es manual y sin una supervisión constante, es difícil alcanzar y mantener un nivel de ebullición vigoroso debido a las diversas variables o cambios de carga que ocurren durante el ciclo de la olla. Algu -

nos de estos cambios se presentan como resultado de:

- 1) Cambios de la presión atmosférica.
- 2) Cambios en la formula de cocción.
- 3) Cambios de densidad en el mosto que entra.
- 4) Pérdida de eficiencia de las superficies de calentamiento debido a acumulaciones durante los diversos ciclos de cocción cuando no se dispone de tiempo suficiente para hacer una limpieza manual a fondo.
- 5) Cambios en la presión de vapor de entrada.
- 6) Variación de las tasas de flujo del mosto que entra.
- 7) Espuma excesiva dentro de la olla.

Además al aumentar la producción de cerveza, muchas ollas ya "no tienen espacio libre"(la distancia entre el nivel y la olla llena), por lo que el control de la ebullición vigorosa se vuelve más difícil, pues exige mayor supervisión por parte de sus operadores. En el mejor de los casos, es difícil obtener resultados buenos y constantes cuando la olla está controlada por una sola persona.

Cuando se programa producir 24 horas al día, debido al cambio de elemento humano, se hace más difícil conseguir los resultados deseados.

Cuando la olla esta llena y esta controlada manualmente siempre existe el peligro de que el mosto se derrame al hervir lo cual constituye un grave riesgo o cuando menos un desperdicio.

Existen varios tipos de ollas, con paredes rectas o en forma de pera o bien con el fondo invertido. Probablemente la olla más común y más eficiente por lo que toca a la transferencia de calor es la olla de paredes rectas con serpentín y percolador, de la cual ya hemos hablado.

Por lo que respecta al material de construcción de las ollas la mayor parte eran de cobre, pero actualmente están siendo substituidas por el acero inoxidable.

El tiempo común de ebullición en las ollas es de 1.5 a 2 horas; durante este tiempo se coagula aproximadamente el 20% de la proteína total. Si el tiempo de ebullición es excesivo podría ocurrir que en vez de producirse un beneficio, se causara un daño; ya que se pueden redisolverse parte de las fracciones que ya se encuentran coaguladas y tal vez se vaya en estas partes el material nitrogenado, o se provoque un excesivo recogimiento de metales, siendo todo esto perjudicial para la levadura.

Cuando la ebullición es menor de lo deseado, se pueden tener también características indeseables, como podría ser la estabilidad coloidal de la cerveza resultante, produciéndose una turbidez muy fina que va a persistir durante todo el proceso y que puede desaparecer cuando la cerveza se calienta en la Pasteurización, pero vuelve a aparecer al enfriarse, este tipo de turbidez es tan fina, que se le puede hacer cualquier tipo de filtración que se le de a la cerveza y seguir existiendo. Cuando se presenta este tipo de turbidez, lo primero que debe chequearse es la duración de el tiempo de ebullición y es recomendable aumentar el espesor de la torta filtrante con el propósito de retener mayor número de partículas posibles.

En la formación del precipitado de la olla, tiene una influencia entre otras cosas, el vigor y la forma en que se realice la ebullición, el tipo de lúpulo que se agrega, etc. Es posible que la formación de este precipitado se realice antes de la adición del lúpulo y se cree que esto es benéfico

porque se fuerza a la proteína presente en el mosto a precipitar con el material polifenólico del lúpulo. Este tipo de precipitado se puede formar en un tiempo relativamente corto, pero si el tiempo de ebullición es mayor puede suceder que vuelva a redisolverse.

Se han empleado también ollas con ebullición a presión, especialmente en aquellos lugares en donde la altitud origina una baja temperatura de ebullición. Sin embargo, este tipo de ebulliciones crea una precipitación defectuosa, facilita en cambio la isomerización de los principios amargos de el lúpulo y para evitar la mala formación de el coagulado, es necesario que el tiempo de presión sea muy corto. En la literatura existen referencias que dicen que la aereación del mosto hirviendo en la olla contribuye a obtener una mejor espuma en la cerveza y a darle una mejor estabilidad coloidal; sin embargo nadie hasta la fecha ha demostrado que esto ocurra realmente en la práctica.

CONTROL AUTOMATICO EN LAS OLLAS

Es un heco que cuando se tiene un sistema automático para controlar la ebullición en las ollas la uniformidad de los cocimientos es mayor que cuando se confía en el control ma - nual. El control automático de ebullición en las ollas se rea liza por medio de sensores que se colocan a distintas alturas.

Los percoladores en este caso están divididos en 2 sec - ciones una inferior y otra superior en tal forma que cuando el primer sensor siente que ha llegado el mosto manda una señal que ordena abrir el vapor al primero de los serpentines; a me dida que el mosto va ascendiendo, llega al segundo sensor y este ordena abrir el vapor del segundo serpentín y a la mi - tad inferior del percolador el mosto sigue subiendo hasta to

car el tercer sensor, el cual manda abrir todos los elementos de calefacción completamente y los mantiene así mientras esté cubierto con líquido este sensor. Para el caso en que la espuma se comience a originar, en la cúpula de la olla existen 2 sensores; cuando el primero se cubre con la espuma manda cortar el vapor a la mitad, en caso de que esto no sea suficiente y la espuma se siga formando y subiendo, cuando toca el último sensor del domo, se corta por completo el vapor. A medida que la espuma se abate, ocurre lo inverso.

Por lo que toca al lupulado, que generalmente se hace en esta etapa del proceso (olla), lo que se determina en su análisis que sirve como guía para determinar el nivel de amargor de una cerveza, es el nivel de isohumulonas, que son los productos de isomerización de los ácidos alfa del lúpulo. Ahora bien, cuando los lúpulos que se emplean son frescos, se puede considerar que la determinación de las isohumulonas es una medida adecuada de la intensidad del amargor.

Otro de los factores principales que afectan la utilización de los ácidos alfa para determinar el nivel de amargor, son desde luego la variedad del lúpulo, la proporción o fórmula del lupulado, el tiempo de ebullición de los lúpulos y finalmente, la composición del mosto.

Por lo que toca a la composición del mosto se sabe que aquellos mostos con alto contenido de nitrógeno, es decir, de partículas en suspensión, van a afectar adversamente el grado de utilización del lúpulo, ya que cuando esto sucede es necesario incrementar la dosis de lupulado para obtener el mismo grado de amargor.

El pH del mosto es igualmente importante desde el punto de vista de la extracción, como desde el punto de vista de la

características de la cerveza resultante. Se puede incrementar considerablemente la extracción e isomerización de los lúpulos, si se incrementa el pH del mosto, sin embargo si se hace esto, también se tiene como consecuencia que el amargor obtenido es más áspero y desagradable. Así, refiriendonos a un mismo mosto y al mismo tiempo de hervor, se tienen los siguientes resultados:

pH	ppm de isohumulonas
5.2	19
5.5	24
5.8	39

No debemos pensar con esto, que se puede entonces reducir la cantidad de lúpulo agregado, aumentando el pH del mosto, porque como ya se dijo, la calidad del amargor sería muy inferior.

Otros materiales que se agregan en la olla de cocimiento en adición al lúpulo son:

ACIDOS: Se agregan con el propósito de reducir el pH del mosto en ebullición, sin embargo, no es recomendable usarlos por debajo de 5.2. El ácido se debe añadir antes de la primera adición de lúpulo. Cuando se agrega ácido se encuentra generalmente que la altura de la espuma durante la etapa de Kreau sen es mejor.

SULFITOS: Se agregan con el fin de evitar el aumento del color del mosto durante la ebullición. Si se agregan en exceso puede producirse cerveza que tienda a "azorrillarse" y para evitar esto, hay que hervir vigorosamente para que el SO_2 se elimine. Si se utilizan hidrosulfitos, estos tienden a incrementar el coagulo formado en la olla.

CLORURO DE SODIO: Cuando se añade, es con el fin de suavizar el sabor de la cerveza, usualmente se agrega en cantidades que varían de 2 a 5 Kg. por cada 120 Hectólitros.

TANQUES DE MOSTO CALIENTE

El equipo que sigue después de la olla de cocimientos y del cual vamos a hablar brevemente, es el de los tanques de mosto caliente. El tipo actual de estas unidades está tendiendo a ser reemplazado por los llamados tanques de mosto calientes tipo Whirpool. Los antiguos tanques de mosto calientes, existían casi en todas las formas posibles, los había cuadrados, de poca y de gran altura, abiertos, etc.

En la actualidad todavía se usan tanques cuadrados provistos de una chaqueta por la cual se hace circular agua con el fin de disminuir en lo posible la formación de materiales colorantes durante la estancia del mosto en el tanque, reducir la carga de refrigeración en etapas posteriores y por otra parte, ganar algo de calor en el agua que circula por las chaquetas con el objeto de utilizarse en algunas etapas del proceso. En estos tanques se busca también eliminar parte del coágulo formado durante la ebullición en la olla. Algunas cervecerías tienen algún tipo de agitación en los tanques de mosto caliente, esto es con el fin de mantener el coágulo en suspensión cuando se va a emplear el proceso de filtración como etapa inmediata, evitando con esto que lleguen grandes concentraciones de trub (precipitado compuesto principalmente por complejos proteína-tanino) al filtro. En algunas partes existen unidades de filtración (mallas) con el fin de separar parte del trub formado en las ollas.

Existe filtración de mosto caliente y mosto frío. Cuando se emplea la filtración de mosto caliente con tierra de infusorios, el grado de tierra de diatomeas que se debe de utili-

zar es grueso, y este proceso se emplea con el propósito de mejorar las eficiencias, ya que de esta forma no se pierde nada de mosto al no quedar nada de trub en el tanque de mosto caliente, sin embargo, hay quienes creen que este proceso no mejora en nada la calidad de la cerveza obtenida, antes bien, es posible que la vuelva más astringente. Esto es debido a que como se sabe, el trub caliente es una partícula de mayor diámetro, en tanto que el trub frío es una partícula más fina, aparentemente el trub frío requiere de la presencia de trub caliente(de mayor diámetro) para poder agregarse a ellas y sedimentar, y cuando no existen partículas de este tamaño, no alcanza a adquirir el diámetro necesario para salir de la solución y permanecen en el mosto.

Cuando se emplea filtración o centrifugación para separar el trub caliente, es recomendable que en este caso se empleen tanques de verificación o de arranque con el propósito de permitir un determinado tiempo de reposo que permita la eliminación del trub frío en esta etapa del proceso. Se acostumbra emplear también una combinación de filtración y centrifugación, esto último ya sea de todo el mosto o de los últimos 20 o 25 Hectólitros. Sin embargo, todo esto parece estar cayendo en desuso y siendo reemplazado por el uso de tanques de mosto caliente tipo Whirpool.

Con relación a los tanques Whirpool, podemos decir que son unidades bastante flexibles, de forma cilíndrica y que pueden trabajar con distintos diámetros y tamaños, en los cuales se busca que el mosto llegue a determinada velocidad de rotación al interior del tanque, para que debido a la fuer-

za centrífuga, se separen las partículas de sólidos y tiendan estas a sedimentarse en el fondo y parte central del tanque.

La etapa que se sigue después de los tanques de mosto caliente es el ENFRIAMIENTO DEL MOSTO:

Durante esta etapa ocurren varias cosas, una de las cuales es una reducción en el volumen al cambiar la temperatura, el cual es del orden del 4%.

Básicamente los enfriadores los podemos dividir en 2 - grandes grupos: enfriadores abiertos y enfriadores cerrados, independientemente de los detalles de su construcción. Generalmente en los enfriadores abiertos existe mayor evaporación (del orden de 2-4%) y la eficiencia de enfriamiento en estos evaporadores es mucho menor si se les compara con los cerrados. Los enfriadores abiertos ofrecen la posibilidad de eliminar determinados compuestos aromáticos presentes en el mosto, cosa que en el enfriador cerrado no se puede hacer. Sin embargo una de las mayores desventajas que presenta el enfriador abierto, es la contaminación ya que por más que se tengan sistemas elaborados de filtración de aire para alimentar la habitación donde se encuentra el enfriador abierto, o se usen sistemas de lámparas ultravioletas; siempre existirán condensa-ciones que van a tender a caer nuevamente en el mosto enfriándose.

Cuando ocurre el cambio de un enfriador abierto a uno cerrado, es necesario realizar algunos ajustes en lo que se refiere a la adición del lúpulo, siendo necesario reducirlo en aproximadamente 10% si se desea mantener el mismo valor de unidades de amargor. Con relación a la aereación en este punto, si se realiza antes del enfriamiento(en caliente), más que aereación se provocaría una reacción química que tendería

a oxidar algunos de los complejos presentes en el mosto y provocar una mayor coagulación de los mismos, lo cual teóricamente podría contribuir a mejorar la estabilidad coloidal. En frío, por otra parte, no es una reacción química sino únicamente una absorción de un gas en un líquido, el aire es un elemento indispensable que sirve como fuente de oxígeno para la reproducción de la levadura que se inocula posteriormente.

Los enfriadores abiertos generalmente están formados de tubos o placas, y todos consisten básicamente en lo mismo, recircular un refrigerante por el interior del tubo o la placa y provocar en alguna forma que la solución a enfriarse corra en forma de una película sobre la superficie de los tubos o placas.

Con relación a los enfriadores cerrados, existen varios tipos: de doble tubería (de tubos y chaquetas) y de placas. Los enfriadores de placas tienen el problema de que si no se controlan en una forma adecuada las presiones en las placas, tiende a existir fugas de mosto, por otra parte para que el enfriamiento sea eficiente, se requiere que en las superficies entre placa y placa no existan incrustaciones de ningún origen.

Algunas personas creen que aerear demasiado el mosto frío, puede originar una mayor producción de diacetilo, sin embargo, es casi seguro que se tendrán mayores problemas si el mosto se aerea de menos que si se aerea de más.

En algunas partes se acostumbra filtrar el mosto frío porque consideran que esto va a traer consigo una mejor eliminación de trub, una levadura más limpia, se puede eliminar la necesidad de tener tanques de arranque y la cerveza puede ser más suave. Sin embargo, si se emplea filtración de mosto

frío, se debe de emplear un tipo de tierra muy grueso, pues si la filtración se realiza en forma muy rigurosa, se pueden tener problemas en la fermentación o en reposo, ya que entre otras cosas la levadura va a tender a no sedimentar.

Hace algunos años que se hicieron muy populares las centrifugas en las cervecerías y se utilizan presisamente para separa los sólidos del mosto. En cervecerías donde centrifugaron demasiado, encontraron que la eliminación de sólidos era extremadamente eficiente, pero encontraron también que la floculación de la levadura era deficiente aparentemente porque es necesaria la presencia de las pequeñas partículas del trub para servir como nucleos que hagan que la levadura se congregue a su alrededor y tienda a flocular.

La cerveza obtenida eliminando todo el trub del mosto tiende a tener un sabor característico que se podría identificar como delgada, falta de caracter, como si a consecuencia de la eliminación completa del trub, se hubieran eliminado el cuerpo y el caracter.

FERMENTACION

INTRODUCCION HISTORICA: Los secretos del uso de levaduras para fermentaciones de fondo fueron descubiertas por los cerveceros bábaros en Munich, en la primera mitad del siglo XIX mientras que el resto del mundo continuaba utilizando la fermentación alta. Las técnicas de fermentación y levadura fueron propuestas en Checoeslovaquia por un monje bábaro en 1842 y ayudaron a establecer en Pilsen un verdadero centro cervecero. Solo 3 años después un cervecero danés, Jacobsen, en forma un poco clandestina, llevó la levadura para fermentaciones de fondo de Munich a Copenage, dando el mayor auge a la cerveza danesa. Casi al mismo tiempo la fermentación de fondo fue

introducida en Pensilvania E.U.A., y comenzó a extenderse en ese país rápidamente debido a la inmigración de maestros cerveceros alemanes.

Mientras la fermentación de fondo se extendía, Pasteur comenzaba sus experimentos microbiológicos y desarrollaba no solo una razonable teoría de la fermentación, sino también principios de esterilización y técnicas para el cultivo de microorganismos, sus trabajos fueron continuados por Hansen y fueron desarrollados métodos para separar células de levaduras aisladas que al ser cultivadas dieron lugar a colonias puras aptas para ser inoculadas.

Los progresos en los aspectos microbiológicos de la fermentación fueron de la mano con aquellos que involucraron el desarrollo de la Ingeniería. En ese entonces, mantener bajas temperaturas de almacenamiento o reposo era difícil y requería grandes cantidades de hielo hasta que la refrigeración por compresión fué desarrollada en Australia y Alemania y se incorporó a las cervecerías a partir de 1873. El desarrollo gradual de las centrifugas ha tenido gran importancia para la tecnología de la fermentación y en algunas cervecerías la separación de levadura se hace por centrifugación. Después de la aparición de fermentaciones de fondo, la fermentación alta tradicional fue descartada excepto en Inglaterra. Sin embargo una pequeña proporción de la cerveza producida en Australia, Bélgica, Canadá, E.U.A. y Alemania es a base de fermentación alta y esto se ha incrementado en los últimos años. En la última década, se han desarrollado nuevos métodos de fermentación en donde las distinciones entre fermentación alta y de fondo han desaparecido. Estas técnicas sustancialmente reducen el tiempo requerido para la fermentación usando más leva-

dura, mayores temperaturas y mayores concentraciones de mosto

FACTORES QUE AFECTAN LA FERMENTACION: Los factores más importantes que influyen la fermentación y la calidad de la cerveza son:

- 1) El tipo de levadura utilizada.
- 2) Las condiciones de la levadura al inocularse.
- 3) La cantidad de levadura adicionada al mosto.
- 4) La distribución de la levadura en el mosto fermentado debido a la fermentación, y al tamaño y geometría del fermentador.
- 5) La aereación (involucra 3 y 4).
- 6) Composición y pH del mosto.
- 7) Temperatura de fermentación.

La importancia de cada uno de estos factores varía según el tipo de cerveza. Para la selección de las cepas de levadura se puede sumarizar los requerimientos así: la levadura debe producir una cerveza de sabor y aroma agradables, brillantez, formación y retención de espuma durante un aceptable período de tiempo en el recipiente disponible y ya como cerveza en venta.

Las condiciones de la levadura al inocularse dependen grandemente de su historia, ha sido demostrado que el contacto de levadura y oxígeno tiene un efecto acumulativo al cabo de varias fermentaciones, con el consiguiente debilitamiento de la levadura, que nos dará cada vez menores porcentajes de atenuación. Para contrarrestar esto se puede inyectar una mayor cantidad de oxígeno al inocular la levadura en el mosto, con el fin de disminuir la duración de la fase lag.

En ciertas levaduras la permeasa maltasa y la maltosa pueden haberse debilitado mucho o haber desaparecido. Enton-

ces las células tienen que sintetizar esas enzimas utilizando el carbohidrato más fermentable del mosto.

La cantidad de levadura inoculada en el mosto tiene gran influencia sobre la velocidad de fermentación, ya que a mayor cantidad de levadura inicial mayor velocidad de fermentación, sin embargo, también es cierto que mientras más levadura se inocule, más lenta será la reproducción de la misma durante la fermentación, así que la cantidad de levadura final será independiente de la cantidad de levadura inoculada al mosto.

La distribución de la levadura durante la fermentación depende de:

- 1) Su capacidad de sedimentación, floculación o espumeo.
- 2) La agitación provocada por corrientes de convección, evolución del dióxido de carbono, Rousing and Stirring.
- 3) Al tamaño y geometría del fermentador.

Es difícil generalizar en cuanto a la geometría de los fermentadores, pero probablemente la de más importante dimensión es la DEPTH por sus efectos que son:

- 1) Sedimentación de la levadura.
- 2) Generación de burbujas de dióxido de carbono por unidad de área.
- 3) Efectos de la presión hidrostática sobre la formación de dióxido de carbono.
- 4) Circulación de corrientes en el recipiente.

La composición del mosto afecta grandemente la velocidad de la fermentación, la extensión de la fermentación, la cantidad de levadura producida y la calidad de la cerveza final. Los constituyentes del mosto más importantes incluyen carbohidratos fermentables, componentes nitrogenados asimilables (aminoácidos, purinas y pirimidinas), y factores alimenticios

accesorios. Los aminoácidos normalmente son los que limitan el crecimiento. La composición del mosto es influenciada por las temperaturas de maceración, bajas temperaturas de maceración dan lugar a mostos más fermentables y en consecuencia con mayor atenuación.

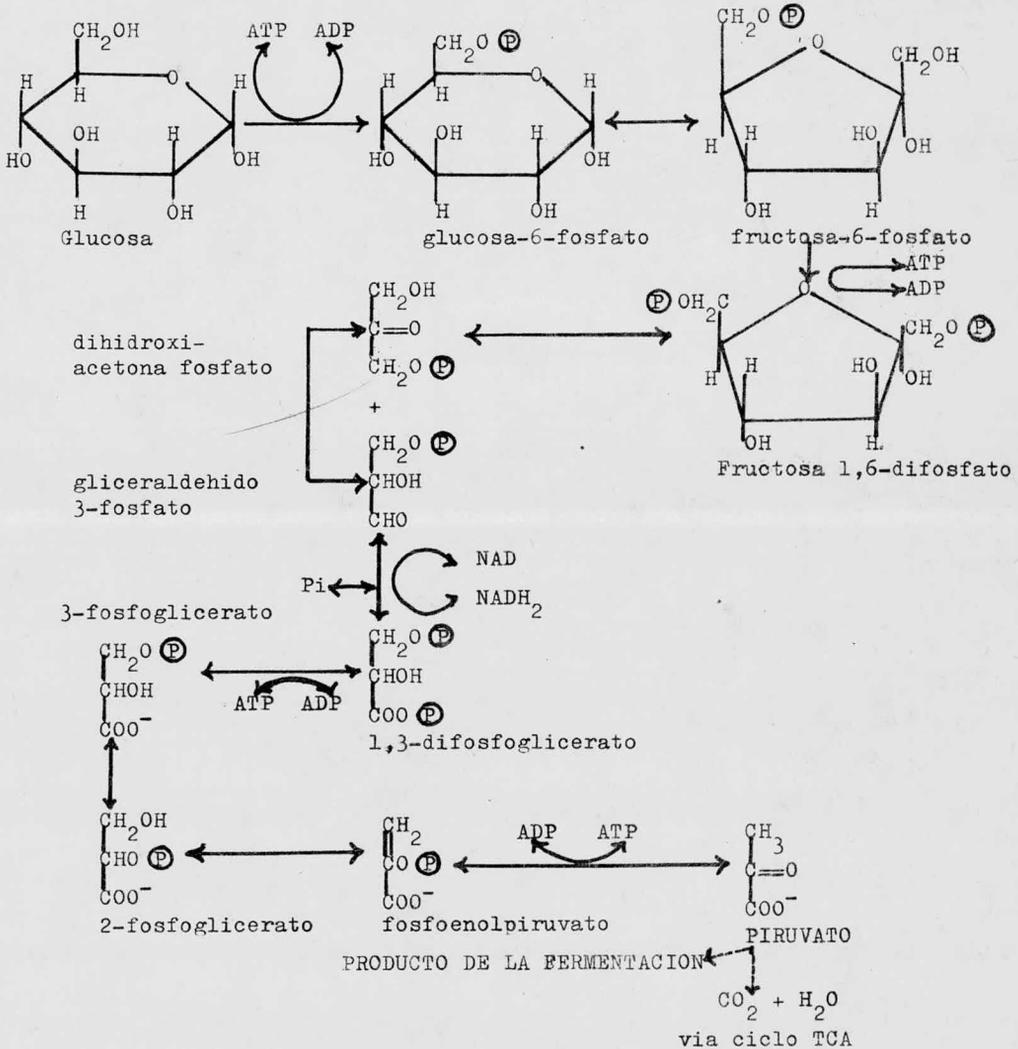
Los aceites de fusel también tienden a aumentar con bajas temperaturas de maceración.

La presencia de sólidos en suspensión también afecta la fermentación por incremento del crecimiento de la levadura y constituyentes de la cerveza como alcoholes de fusel y glicerol. Los sólidos en suspensión pueden, sin embargo, acelerar la autólisis de la levadura y disminuir la formación de levadura espumosa. El pH también tiene influencia sobre la fermentación pero mucho más sobre la calidad de la cerveza final, algunas levaduras causarán incrementos de pH mayores que otras en el mismo mosto, esto puede deberse a una diferencia en su captación de iones fosfato del mosto, o a su excreción de componentes nitrogenados.

El uso de elevadas temperaturas en fermentación ha sido objeto de muchos trabajos. Previendo que no existan bacterias o levaduras salvajes (por contaminación) se pueden producir cervezas aceptables a temperaturas relativamente altas (20°C para levaduras de fondo y 27°C para levaduras de fermentación alta). Sin embargo la calidad de esas cervezas es diferente de aquellas fermentadas a temperaturas normales, esto aunado con menor pH, amargor, vida media, estabilidad de espuma y facilidad de filtrado. Además de mayor contenido de ésteres y alcoholes de fusel.

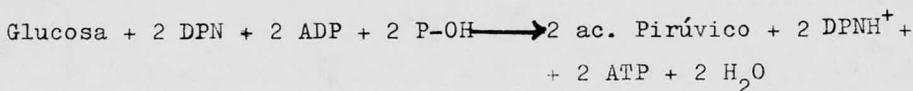
GLICOLISIS:

La ruta principal para la fermentación de glucosa y fructosa es la de Embden-Meyerhof-Parnas (llamada también ruta EMP o secuencia glicólica). Los pasos individuales son los siguientes:

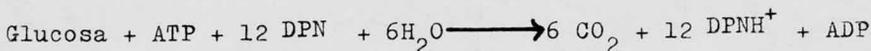


El principal objeto de la ruta es generar sustancias ricas en energía, en particular trifosfato de adenosina (ATP).

Esto puede ser representado así:



Mientras que la ruta de monofosfato de hexosa (HMP) es:



PRODUCCION DE DICETONAS Y ALCOHOLES DE FUSEL:

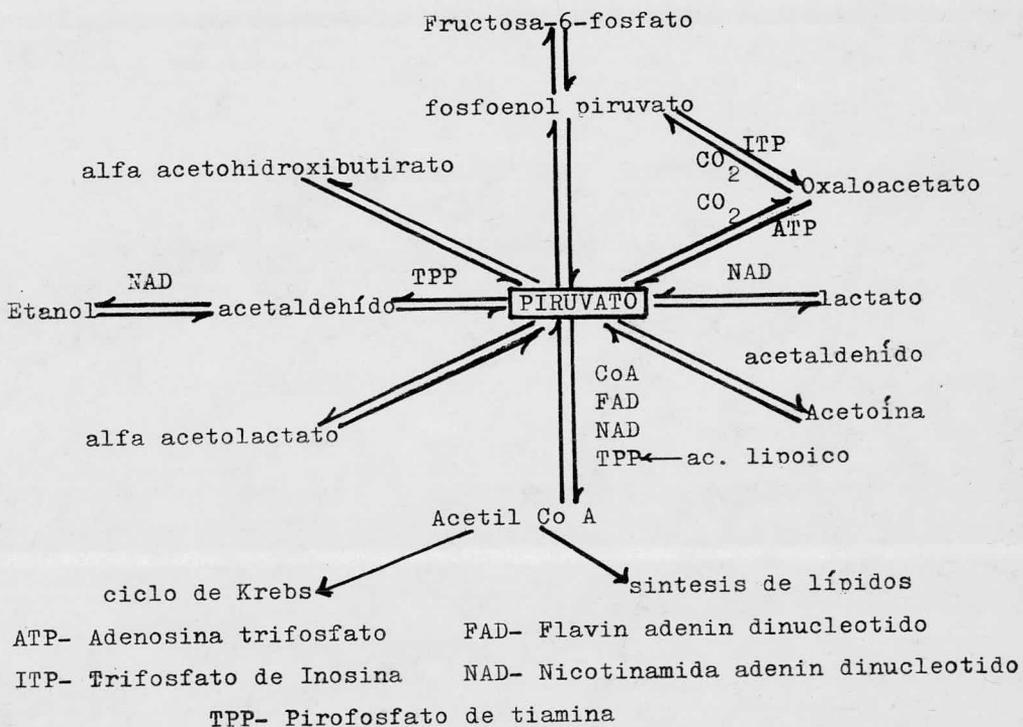
Durante la fermentación del mosto cervecero por la levadura la mayoría del ácido pirúvico producido es descarboxilado y el acetaldehido resultante es reducido a etanol. Algo del ácido pirúvico es convertido a acetil CoA y usado para biosíntesis de lípidos y otros ésteres. Una pequeña cantidad de ácido pirúvico es usada en la producción de acetoina, alfa acetolactato y alfa acetohidroxi-butirato.

La importancia de estos componentes consiste en la posibilidad de ser oxidados a dicetonas, diacetil y pentano 2,3 diona los cuales tienen fuertes sabores y aromas.

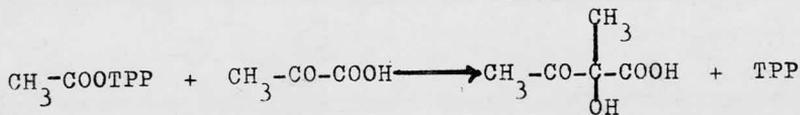
La acetoina es producida a partir del ácido pirúvico por una vía que involucra TPP para formar alfa hidroximetil-2- tiamina pirofosfato (llamado algunas veces acetaldehido activo), más dióxido de carbono.

El acetaldehido activo es un intermediario en la producción normal de acetaldehido y etanol, pero es capaz de reaccionar con acetaldehidos libres en presencia de carboligasas y producir acetoina (acetil metil carbinol).

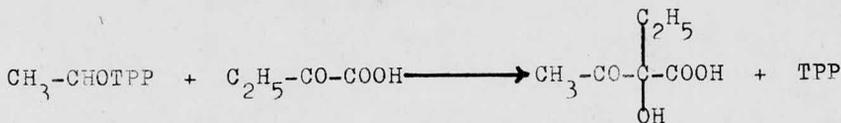
METABOLITOS PRODUCIDOS A PARTIR DEL ACIDO PIRUVICO



Más usualmente el acetaldehído activo reacciona con el ácido pirúvico para producir ácido alfa acetoláctico o reacciona con ácido alfa oxibutírico para dar alfa acetohidroxibutírico.



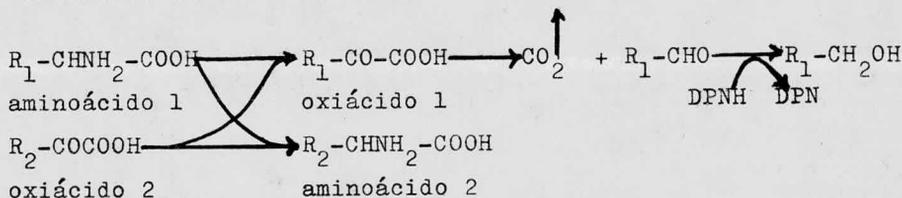
Acido alfa acetoláctico



ac. alfa oxibutírico ac. alfa acetohidroxitúrico

La levadura no oxida la acetoina a diacetilo pero sin embargo tiende a reducirlo. La acetoina puede ser oxidada en cerveza libre de levadura y en presencia de oxígeno. Si la valina está presente en exceso en el mosto, habrá una pequeña tendencia en la levadura a producir ácido alfa acetoláctico (precursor del diacetilo).

Los requerimientos de una célula de levadura para un aminoácido en particular pueden ser conocidos por la captación directa del aminoácido a partir del medio, o por síntesis a partir del alfa oxiaácido apropiado, más un grupo amino transferido de un aminoácido diferente por transaminación.



Si hay un exceso de un aminoácido particular, en el medio de cultivo, por ejemplo valina, entonces también tenderá a haber un exceso del ácido dentro de la célula y también del componente alfa oxiaácido (en este caso: ácido alfa oxoisovalérico).

Los alfa oxiaácidos son normalmente excretados en cantidades mínimas por una célula de levadura sana y son descarboxilados para producir un aldehído el cual es entonces reducido por DPNH y alcohol deshidrogenasa para dar como resultado un alcohol isobutanol. El rango de alcoholes, aldehídos, oxiaácidos y aminoácidos que son conocidos por formar secuencias de esa clase son los siguientes:

ALCOHOLES	ALDEHIDOS	OXIACIDOS	AMINOACIDOS
Etanol	Acetaldehído	Ac. Pirúvico	Alanina
Glicol	Glioxal	Ac. Hidroxipirúvico	Serina
Propanol	Propionaldehído	Ac. α -Oxibutírico	Ac. α -Aminobutírico
Isopropanol	---	---	---
Butanol	Butiraldehído	---	---
Isobutanol	Isobutiraldehído	Ac. α -Oxoisovalérico	Valina
Sec. Butanol	---	---	---
Tert. Butanol	---	---	---
Alc. Isoamílico	Isovaleraldehído	Ac. α -Oxoisocapróico	Leucina
2-Metilbutanol	2-Metilbutanal	Ac. α -Oxi- β -Metil Valérico	Isoleucina
Hexanol	Hexanal	---	---
Heptanol	Heptanal	---	---
---	---	Ac. Oxalacético	Ac. Aspártico
---	---	Ac. α -Oxoglutámico	Ac. Glutámico
Alc. Fenetilo	---	Ac. Fenilpirúvico	Fenilalanina
Tirosol	---	Ac. Hidroxifenil Pirúvico	Tirosina
Triptofol	---	---	Triptofano

Se apreciará que este tipo de alcoholes provenientes de al β oxiácidos pueden producirse en 2 formas. Pueden deberse al exceso de un oxiácido producido durante el metabolismo de los carbohidratos cuando la fuente de nitrógeno es amonio. La degradación a partir de aminoácidos es usualmente llamada la vía de Ehrlich. Los alcoholes así producidos son llamados a menudo alcoholes de fusel porque se encuentran en el aceite de fusel, líquido remanente después de destilar etanol a partir de un líquido fermentado.

En la producción de alcoholes de fusel, el paso final es reductivo; si los aldehídos fueran oxidados, una serie de ácidos mono y dicarboxílicos se formaría.

La producción en fermentaciones cerveceras de aceites de fusel es enlazada con el incremento de aminoácidos en el mosto, por condiciones anaeróbicas, por altas temperaturas y agitación continua. Podría entonces esperarse que en fermentaciones continuas se favorezca grandemente la formación de alcoholes de fusel.

FORMACION DE H_2S Y DE SABOR TIERNO:

El H_2S produce sabor y aroma de cerveza verde, el aroma desaparece al añadir $CuSO_4$ probablemente debido a la formación de CuS .

El trub grueso y fino contiene azufre orgánico que la levadura puede transformar en H_2S , así la eliminación de este trub por filtración en frío permite una reducción considerable en el tiempo de reposo.

La formación de H_2S es favorecida por factores tales como: sales de sulfuro en el agua de cocimientos, el azufre proporcionado por la malta y el lúpulo, la temperatura de fermentación y el cultivo de levadura utilizado.

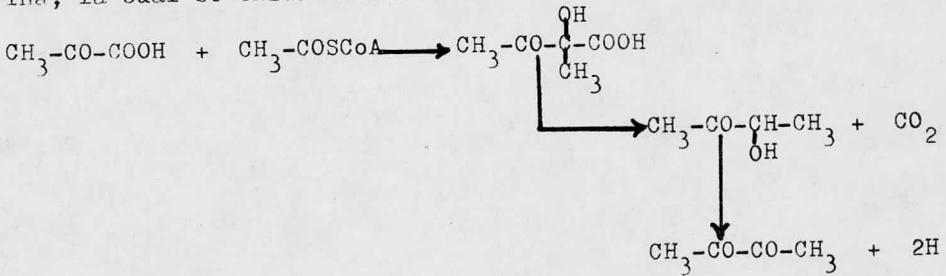
En general la levadura floculante produce menos H_2S que la levadura pulverulenta.

FORMACION DE DIACETILO:

El contenido en la cerveza es generalmente bajo (menos de 0.3 ppm), contenidos mayores de 0.5 ppm dan a la cerveza un olor muy desagradable a mantequilla rancia y generalmente esto indica una infección por sarcina.

Ciertas levaduras (mutantes en ciertas enzimas respiratorias) pueden producir cantidades apreciables de diacetilo.

El mecanismo de formación es el siguiente: el ácido pirúvico se condensa con un acetato activado para formar ácido aceto-láctico, este sufre una descarboxilación y se obtiene acetoina, la cual se oxida a diacetilo.



FENOMENO DE ADSORCION:

Muchos compuestos pueden ser adsorbidos por la superficie de la célula de la levadura. Las isohumulonas que se pierden durante la fermentación son adsorbidas por las células de levadura o quedan atrapadas en el trub y la cabeza de Kraeusen. La respectiva distribución de estos factores depende primeramente del cultivo de levadura utilizado, las pérdidas de isohumulonas ocurren principalmente en los terceros días de fermentación, período que corresponde con el Kraeusen y el tiempo de mayor multiplicación de levaduras.

Se puede demostrar que es necesario el desarrollo de la levadura para la adsorción de isohumulonas, todos los factores que favorecen el desarrollo de la levadura ejercen un efecto directo en el amargor de la cerveza; por ejemplo, una reducción en la cantidad de siembra produce una reducción en el contenido final de isohumulonas, al final de la fermentación primaria.

Lo mismo la levadura nueva de cultivo, produce un menor amargor en la cerveza y el grado de amargor se irá incrementando con las fermentaciones sucesivas de la misma levadura. Esto es importante tenerlo en cuenta para tener una cerveza de calidad

uniforme.

Se ha encontrado que la levadura adsorbe más del 50% de los taninos precipitados con polivinilpirrolidina.

Se conoce que los polifenoles condensados no son solo precursores del enturbiamiento por frío, sino que también tienen influencias sobre el sabor completo y dulzura de la cerveza. Así una cerveza tratada con exceso de nylon, será estable, pero también perderá su sabor completo.

Esto se ha confirmado al seguir el desarrollo de los antocianógenos en fermentación y reposo, la adsorción de estos polifenoles es incrementada con el desarrollo de la célula y consecuentemente, factores como una fuerte aereación del mosto incrementan también la adsorción de estos polifenoles.

Durante el reposo, el nivel de antocianógenos disminuye durante el primer mes y posteriormente comienza a incrementarse como si los polifenoles adsorbidos durante la fermentación primaria y secundaria se desadsorbiesen.

Probablemente esto se debe a una autólisis parcial de la levadura, esta desadsorción de los taninos esta en función directa de la velocidad de sedimentación y la susceptibilidad de la levadura usada para autolizarse.

CONTROL DE LA FABRICACION ANALISIS

Ninguna serie de pruebas proporciona un criterio para juzgar la calidad de la cerveza, salvo la degustación de muestras. Es posible que los análisis de una cerveza buena y una cerveza mala sean idénticos. La comparación de los análisis químicos de la tabla siguiente de algunas cervezas muy acreditadas en los Estados Unidos ilustra el hecho de que la calidad no puede definirse por ninguna composición fija. Una parte de la calidad de la cerveza es su uniformidad, y el análisis químico desempeña un papel importante en el mantenimiento de la calidad normal. Las pruebas fundamentales son la destilación y el análisis gravimétrico para el alcohol y el extracto, que proporcionan información sobre el grado y la eficiencia de la fermentación. La Sociedad Americana de Químicos de Cervecería ha hecho esfuerzos considerables y fructífero para establecer un sistema de procedimientos analíticos para las materias primas, la cerveza, la levadura, el lúpulo, el gas carbónico, los revestimientos, las botellas y los botes, etc. Estos procedimientos se han publicado en forma de un libro con el título de "Métodos del análisis".

La determinación de las proteínas en el mosto y en la cerveza por el método de Kjeldahl da resultados cuantitativos, pero no se dispone de pruebas cualitativas debido a la insuficiencia de los conocimientos sobre la naturaleza de las proteínas que intervienen. Las tentativas de análisis cualitativo hechas por fraccionamiento químico de las proteínas no han dado resultados importantes. Por esto se han ideado procedimientos para medir las propiedades de la cerveza relacionadas con las proteínas, como la estabilidad de la espuma, la turbiedad, etc. Una parte muy importante del control de la fabricación es el examen biológico de la levadura, ya que las infecciones indican un peligro para la

calidad de la cerveza. Por otro lado, el estado de la levadura es importante.

El valor I.T.T. (Indicator Time Test) es una medida del estado de oxidación de la cerveza. Proporciona una idea general del grado en que ha estado expuesta la cerveza a la influencia oxidante y deleterea del aire. Es una prueba sencilla, rápida y empírica, que mide la rapidez con que se decolora un colorante de oxidación-reducción en condiciones determinadas. Esta prueba se ideó para substituir a los ensayos prolijos empleados para medir el potencial oxidación-reducción o el llamado rH de la cerveza. Los valores I.T.T. se expresan en segundos de tiempo. Por lo general, las cifras bajas indican cervezas con materia reductora y protectora todavía presente, mientras que los valores elevados del orden de miles indican una exposición prolongada al aire y un estado altamente oxidado.

El término "extracto" se emplea para indicar "sólidos totales". En el análisis de la cerveza, los sólidos totales se determinan muy rara vez por desecación, como se acostumbra hacer en otros campos. Suelen calcularse partiendo del peso específico de la solución mediante tablas que indican el tanto por ciento de "extracto" (sacarosa es el patrón de referencia usado en las tablas de extractos) para diversos pesos específicos. Estos se determinan por medio de un picnómetro o un densímetro. El densímetro es uno de los instrumentos más útiles para controlar el trabajo de una fábrica de cerveza. La cantidad de extracto original es el contenido total de sólidos del mosto. Puede obtenerse partiendo del peso específico del mosto o se calcula por medio de una fórmula partiendo del contenido de alcohol y del extracto real de la cerveza. La cantidad de extracto aparente es la cifra obtenida en las tablas utilizando el peso específico de la cerveza. Se llama extracto aparente porque no es una medida

Análisis comparativos de diversas marcas de cerveza embotellada de buena calidad

Propiedad	Resultado de 5 marcas de cerveza embotellada					Resultado de 4 marcas de ale			
Peso específico	1.0070	1.0131	1.0135	1.0137	1.0143	1.0058	1.0113	1.0109	1.0109
Extracto aparente, %	1.81	3.36	3.44	3.49	3.65	1.48	2.89	2.80	2.79
Extracto real, %	3.58	4.99	5.03	5.07	5.18	3.06	4.56	4.42	4.69
Alcohol, % en peso	4.00	3.65	3.55	3.52	3.40	3.50	3.74	3.61	4.32
Extracto original, %	11.35	12.08	11.92	11.91	11.78	9.93	11.82	11.43	13.04
Grado real de fermentación, %	84.05	72.18	71.14	70.69	69.01	85.09	75.62	75.50	78.60
Grado aparente de fermentación, %	68.45	58.69	57.80	57.43	56.02	69.18	61.42	61.33	64.03
pH	4.19	4.54	4.49	4.22	4.49	4.21	4.18	4.24	4.19
Total de ácidos (expresado en ácido láctico %)	0.148	0.148	0.155	0.150	0.152	0.161	0.161	0.160	0.171
Proteínas, % nitrógeno X 6.25	0.231	0.413	0.406	0.315	0.343	0.497	0.469	0.382	0.426
Azúcares reductores (expresado en maltosa) %	1.033	1.312	1.084	1.337	1.388	0.653	1.388	1.860	1.464
Contenido de cenizas, %	0.102	0.138	0.136	0.118	0.130	0.123	0.149	0.112	0.144
Color, Lovibond	2.9	3.0	3.2	3.9	2.9	5.8	4.8	5.7	5.4
Dióxido de carbono, volúmenes	2.67	2.77	2.59	2.69	2.66	2.42	2.41	2.40	2.54
Aire, ml. por botella	2.1	1.8	2.6	2.8	1.4	2.4	1.0	2.9	5.1

real del total de sólidos. Esto se debe a la presencia de alcohol en la cerveza, que es más ligero que el agua y, por consiguiente, se opone al peso específico mayor que el del agua debido a los sólidos totales. En virtud del alcohol presente, la cifra del extracto aparente es siempre inferior a la cantidad real de sólidos.

Para obtener un índice real de los sólidos es necesario de terminar el extracto real. Esto se hace averiguando el peso específico después que se ha expulsado de la cerveza el alcohol por destilación. El extracto real representa las materias no fermentadas que quedan en la cerveza. Si se resta el extracto real del extracto original, la diferencia es el extracto fermentado. Si se expresa el extracto fermentado en porcentaje del extracto original, se obtiene el grado real de fermentación .

De una manera análoga puede calcularse el grado aparente de fermentación usando el extracto aparente en lugar del extracto real. El grado aparente de fermentación es siempre mayor que el grado real de fermentación, en virtud del error introducido en la medida del peso específico por la presencia del alcohol.

Además del análisis químico de la composición de la cerveza, es importante conocer el contenido de gas carbónico, el contenido de aire de un número representativo de envases y el valor I.T.T. de la cerveza. La cantidad de dióxido de carbono determina el desprendimiento de gas cuando se vacía la botella para llenar un vaso y producir espuma, e influye también sobre el sabor de la cerveza. El contenido de aire y el valor I.T.T. proporcionan indicios sobre la estabilidad relativa y la vida probable de la cerveza almacenada. La tendencia actual en la práctica de fabricación y embotellado de la cerveza, es a reducir el contenido de aire de la cerveza terminada y envasada, en la medida de lo posible, con el fin de mejorar la estabilidad

dad y aumentar la durabilidad.

DEGUSTACION DE LA CERVEZA

El mejor análisis que puede hacerse de la calidad de la cerveza es la degustación de una muestra. Son muchos los esfuerzos que se han hecho para poner esta prueba sobre una base científica. En su forma más sencilla, la degustación es realizada por un grupo de hombres que conocen bien la cerveza. Cada día se degustan muestras procedentes de las diversas fases de la fabricación; el fin perseguido es simplemente separar cualquier lote que manifieste una desviación apreciable en el sabor o en el olor. La degustación comparativa para elegir la cerveza mejor de varias muestras es más difícil. La aptitud del catador y su estado de ánimo cuando prueba la cerveza son factores importantes, como también lo son el estado de las muestras, su orden y el número total de muestras. Para interpretar los resultados de la degustación, y en particular el límite de diferenciación, se emplean métodos estadísticos. La degustación diferencial se dificulta por la imposibilidad de tener un patrón permanente, porque la cerveza conserva su mejor sabor por poco tiempo. Se ha desarrollado un vocabulario numeroso y lleno de colorido para designar los matices del sabor. El grupo de catadores afecto a una fábrica de cerveza está normalmente influido por prejuicios a favor de su propia cerveza y juzga las demás comparándolas con esta. Se ha concedido bastante interés a la idea de expresar las sensaciones del sabor y el olor por medio de un patrón permanente hecho con determinadas mezclas de compuestos químicos puros.

ASPECTOS ECONOMICOS

La evolución y desarrollo de la industria cervecera en México durante los últimos 25 años ha originado un aumento notable en la productividad, quizá uno de los más significativos en el área industrial.

Para 1975, un promedio de 17 350 personas eran ocupadas directamente por la industria cervecera, con un salario mensual de \$3800 por obrero y \$7800 mensuales (promedio) por empleado, teniendo una erogación total al año de 1400 millones de pesos. Puede calcularse en 60 000 familias, o sea más de 300 000 mexicanos los que perciben directa o indirectamente ingresos de actividades relacionadas con la industria cervecera, sin contar naturalmente al detallista que vende el producto, y de cuyo ingreso, depende muchas veces la economía de su negocio.

El impacto de los requerimientos modernos en la industria cervecera, se extiende hoy día, favoreciendo anualmente a más de 100 industrias que la abastecen y le dan servicio. esto a da do lugar a que otras industrias hayan llegado a ser tan importantes como ella misma.

La industria cervecera es una de las principales fuentes de ingresos para las entidades públicas. La producción y el consumo de la cerveza están sujetos a un gravamen único de carácter federal. En el año de 1951 la industria cervecera tributó únicamente por concepto de impuesto especial la suma de 57 millones de pesos, en año de 1975 el gobierno federal tuvo un ingreso por concepto del impuesto especial de la cerveza de 2087 millones de pesos, un aumento de 3560 %, de esta suma el 62% se canalizó a título de participaciones de este gravamen a las entidades federativas y municipios. Para el presente año la tri

butación será del orden de los 2730 millones de pesos.

FACTORES SANITARIOS

Las fábricas de cerveza, con sus elevadas exigencias en lo que respecta a la sanidad, poseen condiciones de trabajo saludables. En la comunidad las fábricas de cerveza producen pocas molestias por humos u olores. En otros tiempos los desperdicios de las fábricas de cerveza contribuían bastante a ensuciar las aguas de los ríos. Los procedimientos para recuperar la levadura y los líquidos procedentes de las prensas de los granos han reducido muchísimo la polución de las aguas.

En la actualidad, los desperdicios de las fábricas de cerveza consisten en materias orgánicas solubles que no se prestan a ningún tratamiento químico. Estos desperdicios se someten, solos o mezclados con las aguas sucias domésticas, a una digestión minuciosa seguida de estabilización secundaria aerobia.

USO DE MEDIOS MICROBIOLÓGICOS EN LA INDUSTRIA CERVECERA

Los medios de crecimiento microbiológicos para el cultivo de levaduras, bacterias y mohos, fueron concebidos en los tiempos de los primeros descubrimientos y experimentos de Pasteur. En su trabajo, Pasteur empleó medios a base de carbohidratos en sus estudios sobre fermentaciones alcohólicas. Al cultivar bacterias otros investigadores usaron medios basados primordialmente en extractos de tejidos animales. En 1881, Loeffler cultivó microorganismos en un medio compuesto de infusión de carne, 1% de peptona y 0.6% de cloruro de sodio, con un pH ligeramente alcalino de 7.5. Este medio es esencialmente el mismo que el bien conocido caldo nutritivo que tiene un uso tan amplio entre los bacteriólogos de hoy en día.

Las ventajas de que los microorganismos crecieran en medios sólidos eran obvias para los primeros bacteriólogos ya que permitían la identificación y el cálculo de las cantidades, y en 1881, Koch uso gelatina como agente solidificante. La desventaja de la gelatina era su conversión a estado líquido a temperatura del cuerpo humano y la habilidad de muchos microorganismos para licuarla mediante su digestión. El problema se resolvió con el uso del agar, un polímero de galactosa procedente de una alga marina, como agente solidificante.

Otro avance significativo en la técnica fué el método para obtener crecimiento en medios nutritivos a partir de una sola clase de célula en lugar de mezclas de microorganismos. Koch recibe nuevamente el crédito con el desarrollo de los métodos de vaciado en placa y el de placa estriada para el aislamiento de bacterias; técnicas que hoy son rutina en el laboratorio bacteriológico.

Aunque durante aproximadamente un siglo, algunas de las técnicas han permanecido inalteradas, esto no significa que se haya hecho poco durante este tiempo. Los avances en el estudio, cultivo y uso industrial de los microorganismos se han convertido en nada menos que la maravilla de nuestros tiempos.

Hoy en día los medios microbiológicos, su aplicación y usos en el laboratorio cervecero es un tema de importancia vital en la producción de cerveza de la más alta calidad. Los medios que resistieron el crecimiento de los microorganismos en la cerveza, siempre ha sido de interés para los cerveceros, aunque no se tenía mucha preocupación por la descomposición microbiológica del producto empacado, ya que la cerveza se pasteurizaba.

En general hasta hace 10 o 15 años los cerveceros y sus laboratorios tenían solo interés en los controles bacteriológicos de sus plantas. Durante los años cincuenta y a principios de los sesenta se introdujeron a la industria desarrollos extraordinarios en el procesamiento de la cerveza, los cuales han tenido un profundo y duradero efecto en el control de calidad microbiológico en la cervecería.

CONTAMINANTES MICROBIOLÓGICOS

El objetivo principal de este capítulo será hacer algunos comentarios sobre los efectos que algunos microorganismos tienen sobre la cerveza.

Lactobacillus delbrucki .- Es un bastón corto, gram positivo microaerófilico, carece de movimiento; aunque actualmente es difícil encontrar problemas originados por esta bacteria, cuando se presenta es generalmente en el macerado, principalmente cuando por algún problema hay un paro durante el proceso que origine un descenso de temperatura en el macerado, digamos hasta 34°C . En estas condiciones y en un lapso de tiempo relativamente corto, se tendría una reproducción de este microorganismo. Una vez que la contaminación se realiza, los sabores que origina, se arrastrarán durante todo el proceso hasta la cerveza terminada. Es capaz de crecer a altas temperaturas, pero es sensible a las resinas del lúpulo, por lo tanto, no crecerá en mosto lupulado. En tiempos pasados se utilizó este microorganismo para la acidulación del macerado.

Pediococcus acidi-lactisi .- Es microaerófilico, contamina el macerado y puede llegar a contaminar el mosto. Gram positivo, catalasa negativo y carece de movimiento. En su comportamiento es muy similar al anterior, genera también acidez y en ocasiones forma diacetilo. No crece por arriba de 45°C , sensible a las resinas del lúpulo y por lo tanto no crecerá en mosto lupulado.

Aerobacter aerogenes .- Es un bastón muy corto, gram positivo y puede crecer rápidamente ya sea que exista o no oxígeno. Es catalasa positivo y puede moverse; es el microorganismo más peligroso a partir del momento en que el mosto sale de la olla.

Se desarrolla principalmente en lugares como válvulas, puntos muertos de tuberías y en general en cualquier punto donde el mosto quede estancado. Cuando contamina un mosto le da un aroma característico a pepino o apio. Una de las formas de detectar la presencia de este microorganismo, es tomando una muestra del mosto y dejarla que se incube durante un determinado tiempo en el laboratorio. Si el microorganismo se encuentra presente, se desarrollará en el mosto que se almacena, rápida turbidez muy pronunciada, se observará producción de gas, y se formarán sabores y aromas como los antes mencionados. El tiempo que tarde en desarrollarse el microorganismo en la muestra de mosto, será una indicación de la limpieza existente en el sistema.

Obesumbacterium proteus .- Se considera pleomórfico, existe como bastón corto o largo. Crece tanto aeróbica como anaeróbica - mente, es catalasa positivo, no tiene movimiento, no fermenta la lactosa. Se encuentra tanto en el mosto, como en la cerveza fermentando o en la levadura.

Crece en el mosto o en la cerveza que empieza a fermentar hasta que el pH se haya reducido a aproximadamente 4.4, pero en ningún caso habrá crecimiento a pH menor de 4.2 . Da sabores y olores característicos a vegetales. Es probablemente el contaminante más común de las levaduras de cerveza.

Lactobacillus diastaticus .- Es bastante similar al anterior, con la excepción de que es capaz de hidrolizar el almidón. Lo peligroso de este microorganismo es el hecho de que puede obtener sus requerimientos nutritivos a través de las dextrinas que se encuentran presentes en la cerveza o en el mosto.

Pedicoccus cerevisiae .- Es un gram positivo, microaerofílico, catalasa negativa y sin movimiento. Crecerá y contaminará la

cerveza en fermentación, levadura y cerveza terminada. Una contaminación considerable de este microorganismo, producirá diacetilo, el cual se detectará fácilmente en el sabor. Al igual que en el caso de las bacterias del ácido láctico sobrevivirá a través de todas las etapas del proceso.

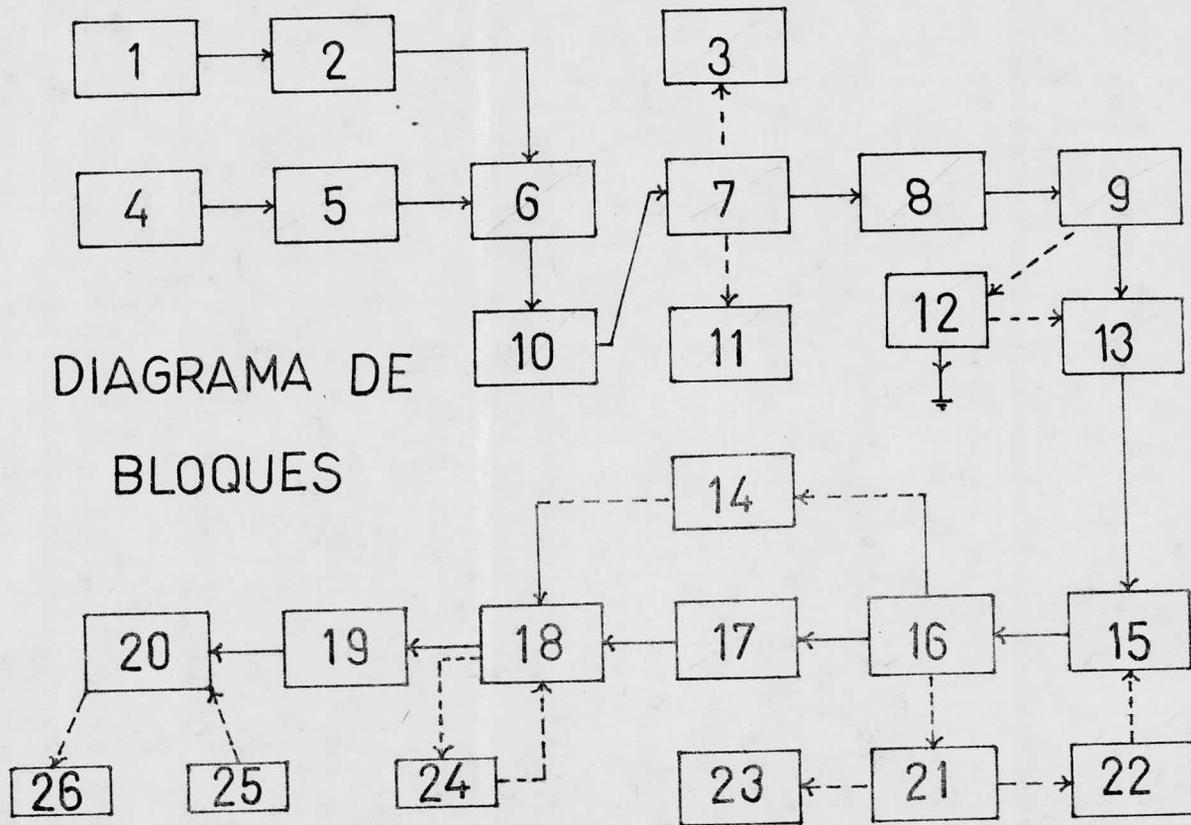
Pediococcus damnosus .- Es muy similar al anterior, pero este tiende a formar natas viscosas en la cerveza. El material viscoso que se llega a formar, es frecuentemente tan notorio, que se puede sacar con una aguja. Es un microorganismo que se encuentra con frecuencia aún cuando su presencia se deba a una operación extremadamente deficiente.

Zymomonas anaerobia .- Casi no se ha llegado a encontrar en cervecerías americanas. Es un microorganismo que tiene muchas características del *Aerobacter aerogenes* tanto por lo que se refiere a la prueba gram como a la catalasa y al movimiento. La diferencia principal es que las *Zymomonas* son estrictamente anaeróbicas y se encuentran principalmente como contaminantes de la cerveza de barril en Europa. La razón por la que esto ocurre es que a esas cervezas se les agrega generalmente azúcar al final del proceso para modificar el sabor y por lo tanto, esas cervezas constituyen un medio ideal para la reproducción de esos microorganismos. Tienen un rango de crecimiento de pH muy amplios (3.5 a 7.5).

Acetobacter .- Producen ácido acético y pueden llegar a producir hasta alcohol con gas y agua. Este microorganismo es de importancia si acaso en el principio de la fermentación, ya que en la cerveza terminada, las condiciones que se mantienen en el envase son básicamente anaeróbicas. Se le encontrará en la superficie de los equipos, líneas, en las llenadoras y hablando en términos generales se le puede considerar un gúfa que nos indicará la presencia de contaminantes más peligrosos.

NOMENCLATURA:

- 1) GRITS
- 2) DISOLUCION DE GRITS
- 3) TANQUES DE BAGAZO
- 4) SILOS DE MALTA
- 5) MOLINOS
- 6) COCEDOR
- 7) FILTRO LAUTER
- 8) OLLA
- 9) TANQUE DE MOSTO
- 10) MACERADOR
- 11) SECADORA DE BAGAZO
- 12) CENTRIFUGA
- 13) ENFRIADOR DE MOSTO
- 14) PLANTA DE CO₂
- 15) TANQUE DE VERIFICACION
- 16) TANQUE DE FERMENTACION Y REPOSO
- 17) ENFRIADOR DE CERVEZA
- 18) FILTRO DE CERVEZA
- 19) TANQUE DE GOBIERNO
- 20) EMBOTELLADO
- 21) LEVADURA
- 22) TINAS DE LEVADURA
- 23) SECADORA DE LEVADURA
- 24) TANQUE DE PREFILTRADO
- 25) ALMACEN DE ENVASE VACIO
- 26) ALMACEN DE ENVASE LLENO



BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA

El balance se hará tomando como base un ciclo de un cocimiento, esto nos facilitará los cálculos en vista de que estamos tratando con un proceso intermitente.

I.-MOLINOS

Esta sección de la cervecería constará de una cribadora y un molino de 3 pares de rodillos. El objetivo de la cribadora será separar impurezas, finos, cascarilla, etc. que son arrastrados con los granos de malta y no tienen ningún valor cervecero. En el molino únicamente se separará el gluten de la cascarilla, tratando de que esta no sea dañada y pueda servirnos correctamente en la posterior operación de filtrado de mosto.

Balance de Materia:

ENTRADAS (a la cribadora)

Malta de 6 hileras = 6,200 Kg.

Malta de 2 hileras = 500 Kg.

Entrada = Salida + Acumulación

Acumulación = 0

Salida = Grano Entero + Polvo + Cascarilla + impurezas

Polvo + Cascarilla + Impurezas = 3.46% del peso total
(para malta de 6 hileras)

Polvo + Cascarilla + Impurezas = 5% del peso total (para
malta de 2 hileras)

SALIDAS (de la cribadora) = ENTRADAS (al molino):

6,200 Kg. - (6,200 x 3.46%) = 5,985 Kg.

500 Kg. - (500 x 5.0%) = 475 Kg.

Los porcentajes de merma para estas maltas se han calculado en forma experimental.

En el molino no habrá pérdidas y por lo tanto:

ENTRADA = SALIDA

La malta de seis hileras se utilizará en el macerador porque es barata, tiene aceptable poder diastásico y su alto contenido de cascarilla favorecerá nuestra filtración de mosto.

La malta de dos hileras se utilizará en el cocedor debido a que no obstante ser más cara, tiene un menor contenido de cascarilla y siendo el cocedor (como veremos después) un recipiente a presión, habría una excesiva extracción de antocianógenos si se utilizara una malta de seis hileras y esto sería en detrimento del sabor, así como de la estabilidad de la cerveza terminada.

Balance de Energía:

$$\Delta H = Q + W_f$$

$Q \approx 0$ (Esto es lógico porque no vamos a calentar harinas y esperamos que la eficiencia de nuestro molino sea suficientemente alta).

El trabajo requerido para la molienda estará dado por la ley de Rittinger y regido por su ecuación:

$$E = W_f = c'(s_2 - s_1)$$

s_2 y s_1 = superficies específicas al final y antes de la molienda. Estas variables se especifican de acuerdo a cada proceso y según sus experiencias.

c' = Coeficiente de Rendimiento = $0.018 \text{ m}^2/\text{Kgm}$. (dato empírico)

En los molinos de tres pares de rodillos es muy importante el ángulo de alimentación del material a los rodillos:

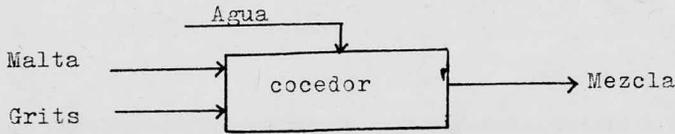
$$\cos \alpha = \frac{\text{Radio del Rodillo} + 1/2 \text{ del Espacio entre Rodillos}}{\text{Radio del Rodillo} + \text{Radio de la Partícula}}$$

El valor típico de $\alpha = 16^\circ$ (Malting and Brewing Science)

La capacidad teórica de un rodillo es igual a la velocidad periférica de los rodillos x anchura de los rodillos x dirección de los rodillos.

En realidad solo se aprovecha un 10 a un 30% de la capacidad teórica.

II.-COCEDOR

Balance de Materia:

ENTRADAS

Malta = 475 Kg. $\rho = 0.6 \text{ Kg./lt. (experimental)}$
 Grits = 3,100 Kg. $\rho = 1.5 \text{ Kg./lt. (experimental)}$

Además la densidad final de la mezcla deberá ser 1.04Kg/lt para lograr una buena acción enzimática de las alfa amilasas.

$V_f = 18,000$ litros

$$18,000 = 475/0.6 + 3100/1.5 + H_2O$$

$$H_2O = 15,141 \text{ litros}$$

$$\text{Mezcla} = 475 + 3100 + 15,141 = 18,716 \text{ Kg.}$$

Balance de Energía:

Este balance, así como todos los demás balances de energía que se hagan en este trabajo, será parcial; ya que en un proceso intermitente un balance parcial de componentes es más práctico que un balance total del proceso.

$$wE_1 = w\bar{v}_1^2/2gc\alpha + wz_1g/gc + wP_1V_1 + WQ' = wE_2 + w\bar{v}_2^2/2gc\alpha + wz_2g/gc + \dots$$

$$\dots + wP_2V_2 + wW'_f$$

Para la unidad de masa la ecuación diferencial facilita la manipulación matemática de los términos:

$$dE + d(PV) + d(g/gc)z + \bar{v}d\bar{v}/\alpha gc = dQ' - dW'_f$$

$$H = E + PV$$

$$H_1 + \frac{v_1^2}{2g\alpha} + z_1 \frac{g}{g\alpha} + Q' = H_2 + \frac{v_2^2}{2g\alpha} + z_2 \frac{g}{g\alpha} + W_f'$$

$$\Delta H + \Delta\left(\frac{v^2}{2g\alpha}\right) + \Delta\left(\frac{zg}{g\alpha}\right) = Q' - W_f'$$

En donde Δ es el incremento al pasar del estado 1 al 2

$$\Delta H = \int_{t_1}^{t_2} C_p dt + \int_{P_1}^{P_2} C_v dP$$

$\Delta\left(\frac{v^2}{2g\alpha}\right) = 0$ (las variaciones de energía cinética serán muy pequeñas ya que la agitación es casi constante)

$\Delta\left(\frac{zg}{g\alpha}\right) = 0$ (la energía potencial es despreciable)

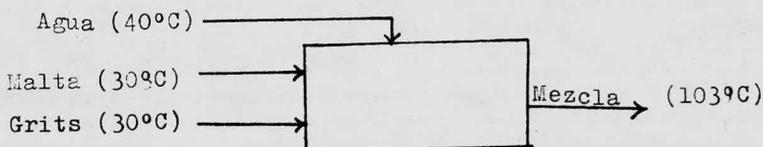
$$Q_1 = 0$$

$$W_f' = 0$$

$\Delta H = Q' = \text{Calor absorbido por el sistema.}$

$$Q = mC_p \Delta t + \lambda v \Delta t$$

Para facilitar la resolución podemos hacer un diagrama de transferencia de energía.



El calentamiento de la mezcla dependerá de las temperaturas de gelatinización del grits (harina de maíz y sorgo), de la malta y de la acción enzimática requerida para dichas gelatinizaciones, así como la temperatura de licuefacción de la mezcla.

Una curva típica de temperaturas para un cocedor será:

PAUSA (MIN)	TEMP. °C	TEMP. °F	TIEMPO PARA SUBIR TEM. (MINUTOS)	TEMP.2 °C	TEMP.2 °F	FUNCION
5	40	104	5	50	122	Proteólisis
10	50	122	15	65	148	Gelatinización del maiz.
10	65	148	10	72	161	Gelatinización del sorgo.
10	72	161	30	103	216	Licuefacción

$$\text{mezcla} = 1.04 \text{ Kg/lt}$$

$$P_{Be} = 145 - 145/1.04 = 5.57$$

Con el valor anterior en las Tablas del Energiewirtschaft der Brauerei (Walter Fischer), obtenemos el C_p de la mezcla:

$$C_p = 0.941 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$$

$$P_1 = 5 \text{ Kg/cm}^2 = 73.5 \text{ lb/in}^2$$

$$A_v = 946.5 \text{ Btu/lb}$$

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = H$$

$$Q_1 = m C_p t = (18716)(0.941)(122-104)/.454 = 698263 \text{ Btu/l/12} = 8379161 \text{ Btu/hr}$$

$$Q_2 = (18716)(.941)(148-122)/(.454)(1/4) = 4034411 \text{ Btu/hr}$$

$$Q_3 = (18716)(.941)(161-148)/(.454)(1/6) = 3016506 \text{ Btu/hr}$$

$$Q_4 = \frac{(18716)(.941)(216-161) + (18716)(946)}{(.454)(1/2)} = 82264237 \text{ Btu/hr}$$

$$Q_t = 43341734 \text{ Btu}$$

111.-MACERADOR

Balance de Materia:

ENTRADAS

Malta = 5985 Kg. = 0.6 Kg/lt.

Mezcla (cocedor) = 18716 Kg

SALIDAS

$V_f = 50000$ litros para una

relación de 0.9345 Kg/lt

$$50,000 \text{ litros} = 5,985/0.6 + 18000 + H_2O$$

$$H_2O = 22,025 \text{ litros} = 22,025 \text{ Kg.}$$

$$\text{Masa del macerado} = 5,985 + 18,716 + 22,025 = 46,726$$

densidad = 0.9345 Kg/lt lo cual nos garantiza una buena acción de la alfa amilasa.

Balance de Energía:

$$\Delta H + \Delta(\bar{v}^2/2gc\alpha) + \Delta(zg/gc) = Q' - W_f$$

$$\Delta(\bar{v}^2/2gc\alpha) = 0 \text{ (poca variación de energía cinética)}$$

$$W_f' = 0$$

$$\Delta(zg/gc) = 0 \text{ (debido a la despreciable variación en la energía potencial)}$$

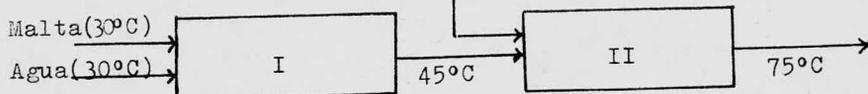
$$\Delta H = Q' = mCp\Delta t$$

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2$$

ΔH_1 = Entalpia antes de añadir la mezcla del cocedor

ΔH_2 = Entalpia después de añadir la mezcla del cocedor

Mezcla del cocedor (103°C)



La curva de maceración dependerá de la composición del mosto que se desea obtener y de ella dependerán en última instancia gran parte de las características de la cerveza terminada.

TIEMPO (MIN.)	TEMPERATURAS		FUNCION ENZIMATICA
	°C	°F	
15	30 a 45	86 a 114	Acción de la fosfatasa, <u>fi</u> tasa y betaglucanasa.
17	45 a 70	114 a 158	Acción de las proteinasas y de la diastasa.
5	70 a 75	158 a 167	Destrucción de Enzimas

Tiempo de bajada de masa del cocedor al macerador=12'

$C_p=0.42$ para almidón.....Energiewirtschaft der Brauerei (Walter Fischer).

$$C_p=(22025)(1)+(5985)(0.42)/28010=0.876$$

$$Q_1=mC_p t=(28010)(0.876)(114-36)/0.454=1513280 \text{ Btu}$$

Para calcular Q_2 :

$$t_m=(28010)(45)+(18716)(103) / 46726=68^\circ\text{C}=154^\circ\text{F}$$

$$Q_2=(46726)C_p(70-68)$$

$$C_p=(0.876)(28010)+(0.941)(18716) / 46726=0.902$$

$$Q_2=(46726)(0.902)(158-154)/0.454=371337.9 \text{ Btu}$$

$$Q_3=(46726)(0.941)(167-158) / 0.454=871635 \text{ Btu}$$

$$H_1=Q_2+ Q_3= 1242972.9 \text{ Btu}$$

$$\Delta H_t=Q_1+ H_1= 2756252.9 \text{ Btu}$$

IV.-FILTRO DE MOSTO

Balance de Materia:

ENTRADA

Macerado=50,000 litros

=46,726 Kg

Volumen de bagazo=265 lt/100 Kg de malta en el macerador

(relación empírica).

SALIDA

Mosto=37,500 lt.(dato ex.)

Bagazo=30% de la masa tota

$$265/100 \times 5,935 = 15,065 \text{ litros}$$

Suponiendo que nuestra planta trabaje con un 92% de eficiencia: Eficiencia=Extracto aprovechado/extracto aprovechable

$$\text{Extracto aprovechado} = V \rho^{\circ} \text{Balling}$$

$$\text{Extracto aprovechable} = \text{Kg. de material} \times \text{extracto}$$

Material	Extracto (B.S.)
----------	-----------------

5,985 Kg.	76%
-----------	-----

500 Kg.	76%
---------	-----

3,100 Kg.	101%(debido a que forma enlaces con el H ₂ O)
-----------	--

$$\text{Extracto aprovechable} = 3,059.6$$

Buscaremos el volumen final de la olla de cocimientos de forma que obtengamos un mosto final con 11.3^oBa y su correspondiente densidad (1.04354):

$$V = (0.92)(3,059.6)/11.3(1.04354) = 627 \text{ hlt.}$$

Si queremos evaporar el 5% del volumen de llenado de la olla(es lo que normalmente se evapora), debemos llenar la olla con 660 hlts. y evaporar 33 hlts.

$$^{\circ}\text{Ba al llenar la olla} = 627 \times 11.3/660 = 10.73^{\circ}\text{Ba}$$

Si el extracto inicial es de 375 hlts.

$$10.73 \times 660/375 = 18.9^{\circ}\text{Ba con una densidad de 1.072 (Tablas del Malting and Brewing Science)}$$

DATOS:

- Durante una hora de hervor en la olla, se evapora el 5% de agua en volumen.
- La olla se llenará en 2.3 horas para que de tiempo a que haya un eficiente lavado de los granos gastados.
- El tiempo requerido para pasar el extracto del filtro a la olla es de una hora, a partir de ese momento comienza el riego del grano gastado.

$$\text{volumen evaporado} = \int_{v_1}^v \int_{t_1}^t k_t v_i / t = \sum_{t=1}^n k/t v_i$$

VOLUMEN (Hlts.)	TIEMPO (min)	VOLUMEN EVAPORADO (Hlts.)
0	0	0
62.5	10	0.51375
125	20	1.0375
187.5	30	1.55625
250	40	2.0736
312.5	50	2.59375
375	60	<u>3.1125</u>
k=0.083		10.89235
410.6	70	3.31
446.2	80	3.61
481.8	90	3.9
517.4	100	4.17
553	110	4.5
588.6	120	4.74
624.2	130	5.05
660	140	<u>5.32</u>
k=0.0081		34.53
Total evaporado=		45.4223 Hlts.

Volumen de agua:

$$m_1 = 46,726 \text{ Kgs.}$$

$$\text{Extracto} = 375 \times 1.07 \times 100 = 40,125 \text{ Kg.}$$

$$\text{Bagazo} = 14,000 \text{ Kg.}$$

$$\text{Agua necesaria para completar volumen de llenado} = 66,000$$

$$-37,500$$

$$28,500$$

$$\text{Agua en el bagazo} = 46,726 - 40,125 - 14,000 = 7,399 \text{ Kg.}$$

$$\text{Volumen total de agua} = 28,500 + 7,399 + 4,542.23 = 40,441 \text{ Litros}$$

Balance de Energía:

$$Q' = 0 \text{ (no hay transferencia apreciable de calor)}$$

V.-OLLA DE COCIMIENTOS

Balance de Materia:

$$V_f = 62,700 \text{ lt. con } 11.30^\circ \text{Ba.}$$

$$V_{\text{agua}} = 627 - 375 = 252 \text{ Hlt.}$$

$$\text{Masa } f = 40,125 + 25,200 = 65,325 \text{ Kg.}$$

Balance de Energía:

En la olla vamos a evaporar el 5% del volumen total de llenado (se va a llenar en 2.3 hr. y 1 hr. de hervor)

$$Q = m C_p t \quad t, m, C_p = \text{variables durante el llenado.}$$

Para evaporar el 5% del volumen deberán trabajar las unidades calefactoras a toda su capacidad; la entalpia se puede fijar sobre esta base:

$$Q_{\text{llenada}} \times 3.3 = Q_{\text{total}} = H_{\text{total}}$$

Q durante la evaporación m y C_p casi constantes.

$$\lambda_v = 970.3 \text{ Btu/lb (puesto que se va a evaporar agua)}$$

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$970.3 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}} \times \frac{1 \text{ lb}}{.454 \text{ Kg}} \times \frac{1 \text{ Kcal}}{3.968 \text{ Btu}} = 538.6 \text{ Kcal.}$$

$$Q_1 = (40,125)(0.902)(92-75) + 538.6(1089) = 1,201,812 \text{ Kcal.}$$

$$Q_2 = (28,500)(1)(t) + vm$$

$$\Delta t = \frac{40,125(92) + (28,500)(75) + 92}{(40,125) + (28,500)} = 70^\circ \text{C}$$

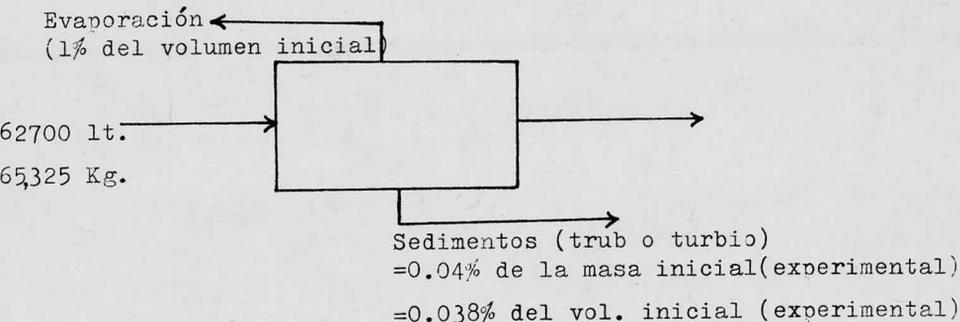
$$Q_2 = (28,500)(1)(7) + (538.6)(3453) = 2,059,285.8 \text{ Kcal}$$

$$Q_3 = (66,000)(0.05)(1)(538.6) = 1,777,380 \text{ Kcal}$$

$$Q_t = 5,038,477 \text{ Kcal.}$$



VI.-TANQUE DE MOSTO CALIENTE

Balance de Materia:

$$\text{Evaporación} = 62700(0.01) = 627 \text{ lt.}$$

=627 Kg. (tomando en cuenta que básicamente se evaporará agua)

$$\text{Sedimentos} = 62700(0.038\%) = 25.08 \text{ lt.}$$

$$= 65325(0.0004) = 26.13 \text{ Kg}$$

$$\text{Volumen de Salida} = 62700 - 627 - 25.08 = 62047.9 \text{ lt.}$$

$$\text{Masa de Salida} = 65325 - 625 - 26.13 = 64555 \text{ Kg.}$$

Balance de Energía:

No hay pérdidas de calor y tampoco ganancia.

VII.-ENFRIADORES DE PLACAS

Balance de Materia:

No hay variación en la masa:

$$m_1 = m_2 = 64555 \text{ Kg.}$$

Los enfriadores bajarán la temperatura del mosto de 92 a 9°C

$$\text{densidad a } 92^\circ\text{C} = 0.96534$$

$$\text{densidad a } 9^\circ\text{C} = 0.9998088$$

$$62047.9(0.96534/0.9998088) = 59,908 \text{ lt.}$$

$$\text{Volumen final} = 59,908 \text{ litros}$$

Balance de Energía:

$$Q = mC_p \Delta t = (64555)(0.92)(92-9) = 4929419 \text{ calorías}$$

Tomando en cuenta la limitante del equipo, que será la olla de cocimientos, sabemos que el tiempo de permanencia en ella es igual a 3.3 horas (más los tiempos de bombeo), de esta manera deberemos enfriar el mosto en la misma cantidad de tiempo para que esta operación sea continua; entonces el tiempo total de enfriamiento será 4 hr.

$$Q = 4929419.8 \text{ cal/4hr.} = 1232355 \text{ cal/hr}$$

Los cambiadores de calor de placas constarán de una sección agua-mosto y una sección mosto-salmuera

La temperatura de salida normal de la sección agua mosto será 30°C:

$$Q_{am} = (64555)(0.92)(92-30)/4 = 920554.3 \text{ cal/hr}$$

Cantidad de agua necesaria:

$$t_{\text{salida(agua)}} = 54^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{entrada(agua)}} = 28^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = 54 - 28 = 26^\circ\text{C}$$

$$\text{Gasto de agua} = 920554.3 / (1)(26) = 35406 \text{ Kg/hr}$$

Esta misma agua se puede aprovechar para adicionarse al cocedor, macerador y filtro de mosto.

Cantidad de salmuera necesaria:

$$m_{\text{sal.}} = Q / C_p \Delta t \quad C_p = 0.88 \quad t_s = 12^\circ\text{C}$$

$$\text{densidad} = 66.9 \text{ lb/ft}^3 \quad t_e = 3^\circ\text{C}$$

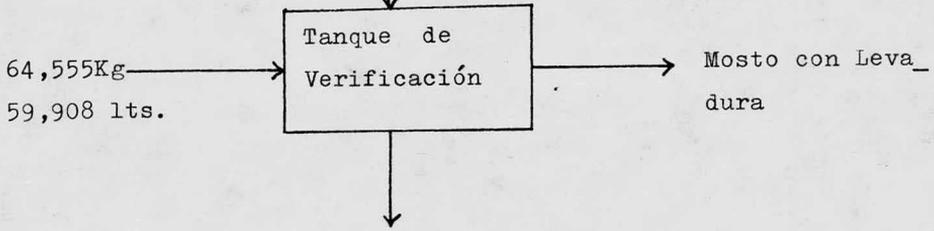
$$Q_{\text{salm.-mosto}} = (64555)(0.92)(30-9) = 415734 \text{ cal/4hr.} = 103933 \text{ cal/hr}$$

Gasto de salmuera = $103933 / 0.88(12-3) = 13123 \text{ Kg/hr}$ (esta es la cantidad de salmuera que habrá que enfriar cada hora y se estará recirculando)

$$\text{Volumen de salmuera} = 13123 / (66.9)(0.01602) = 12244.6 \text{ lt/hr}$$

VIII.-TANQUE DE VERIFICACION

Levadura=1% del volumen del mosto (experimental)
 $m=0.22\text{Kg./Hlt}$ (Malting and Brebing Science)



Trub frío=0.035% de la masa total(experimental)
 densidad= 0.05

Cantidad de levadura=600 litros

Masa de la levadura =599.08 x .22=131.7976

Trub frío=22.59 Kgs.

Volumen de trub frío= $2.258/0.05=45.18$ litros

Masa final=64,555+131.7-22.59=64,664Kg.

Volumen final=59908+600-45.18=60462 litros

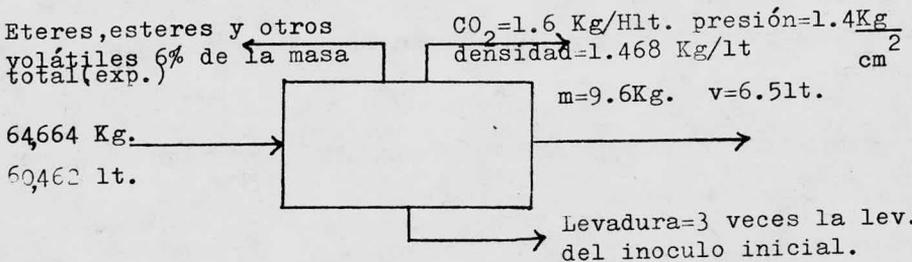
Balance de Energía:

Aumenta ligeramente la temperatura por el arranque de la Fermentación, pero esta variación no es muy significativa, ni constante.

IX.-TANQUE DE FERMENTACION Y REPOSO

FERMENTACION:

Balance de Materia:



Masa de Salida=64,664-9.6-393-0.06(64,664)=60,381.5Kg.

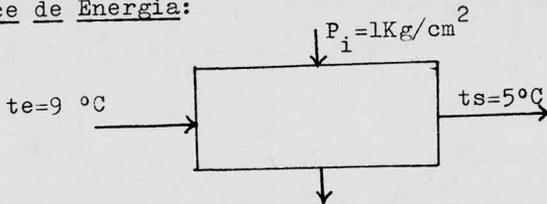
Volumen de Salida=60,462-6.5-1800-982.3 = 59,637.8 litros

otros constituyentes volátiles=3% de la masa total.

densidad=3°Ba = 1.012

3° es el grado Balling final requerido.

Balace de Energía:



34 horas después de estar fermentando (más o menos 10 después de la etapa de Kreausen) la temperatura del líquido es de 12.5 °C durante otras 38 hr. se controlará la temperatura del líquido a 12.5°C, ya que se ha escogido esta temperatura para llevar a cabo la fermentación (es una temperatura de fermentación baja y por ello dará una cerveza de sabor más limpio) hasta llegar al °Ba requerido y de ahí se comenzará a enfriar hasta 5°C para hacer flocular la levadura del tanque e impedir una formación de alcohol excesiva.

$$Q_1 = (64,664)(1)(12.5-9)/40 \text{ hr.} = 5658 \text{ cal/hr.}$$

El agua de enfriamiento tendrá que mantener 32 hr. esta temperatura de 12.5°C:

$$Q_1 = 5658 \times 32 = 18,056 \text{ calorías}$$

Esto es cierto porque si no se eliminara esa cantidad de calor la temperatura se elevaría hasta casi 15.7°C cosa que se ha comprobado experimentalmente.

Para enfriar de 12.5 a 5°C se necesitan 48 hr.

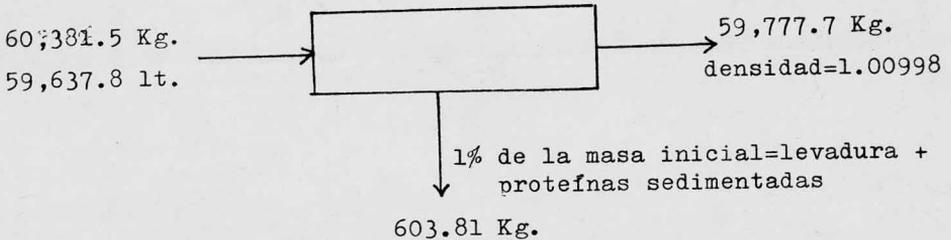
$C_p = 1.02$ (para 3% de alcohol etílico en solución).

$$Q_2 = (64,664)(1.02)(12.5-5)/72 \text{ hr.} = 6870.55 \text{ cal/hr.}$$

$$Q_2 = 494,679.6 \text{ Kcal}$$

$$Q_t = 675,735.6 \text{ Kcal}$$

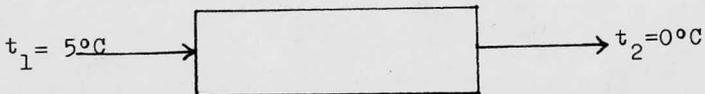
REPOSO

Balance de Materia:

densidad=1.00998 = 2.5°Balling

Volumen=59,777.7/1.00998 = 59,187 litros

Volumen de levadura y sedimentos = 59,637.8-59,187=450 litros

Balance de Energía:

$$Q = (60,381.5)(0.92)(5.0) = 277,754.8 \text{ cal/48hr.} = 5,786 \text{ Kcal/hr.}$$

X.-FILTRO DE TIERRAS DIATOMACEAS

Si el proceso de reposo se a llevado correctamente no habrá variaciones significativas de materia y energía.

XI.-TANQUES DE GOBIERNO

De los tanques de Gobierno saldrá basicamente la misma cantidad de cerveza, a la misma temperatura que salió de los tanques de reposo.

DISEÑO DEL EQUIPO

Este diseño del equipo principal se hará para dar idea de la clase y dimensiones del equipo usado en la fabricación de cerveza.

I.-COCEDOR

Superficie:

$$V = D^2 h \pi / 4$$

$$S_{\min} = 2\pi D^2 / 4 + \pi Dh = \pi D^2 / 2 + \pi D 4V / \pi D^2$$

$$S/D = \pi D - 4V/D^2 = \pi D - \pi D^2 4h / 4D^2 = \pi D - \pi h$$

$D=h$ (es el mínimo de superficie y aumenta la efectividad de la agitación)

$$\text{Volumen} = 18m^3$$

Tomando 1.5 como factor de seguridad para este recipiente a presión: $V = 18 \times 1.5 = 27$

$$D^3 = 4V / \pi$$

$$D = \sqrt[3]{4V/\pi} = 4(27)/\pi = 3.25 \text{ metros}$$

$$h = D = 3.25m.$$

$$Q = U_D A \Delta t$$

t = temperatura del vapor - temp. inicial.

t_i es más significativa cuando va de 72 a 103°C porque involucra un cambio de fase.

$$t \text{ del vapor} = 200^\circ\text{C}$$

$$t = 200 - 72 = 128^\circ\text{C}$$

$$Q = 82264237 \text{ Btu/hr.} \times \frac{\text{Kcal.}}{3.968 \text{ Btu}} = 20731914 \text{ Kcal.}$$

$$3.968 \text{ Btu}$$

El material que se utilizará será acero. porque a pesar de ser más caro que el hierro es más durable y más fácil de limpiar.

Para acero $U = 913 \text{ Kcal/hr.m}^2\text{.}^\circ\text{C}$ (Manual del Ing. Quím.-Perry)

$$Q=AU\Delta t$$

$$A = Q/U\Delta t = 20731914/(913)(128) = 177 \text{ m}^2$$

$$\text{Area del fondo} = \pi D^2/4 = \pi(3.25)^2/4 = 2.64 \text{ m}^2$$

$$\text{Area lateral} = Dh$$

$$h = 177/\pi(3.25) = 17 \text{ m.}$$

Como la altura requerida es mayor que la altura disponible para calentamiento, tendremos que construir las superficies calefactoras con chaquetas de hoyuelos, lo cual nos aumentará aproximadamente 20 veces la superficie de calentamiento en un area dada del recipiente.

II.- MACERADOR

$$V = 50 \text{ m}^3$$

$$f \text{ de seguridad} = 1.3$$

$$\text{Volumen corregido} = 65 \text{ m}^3$$

Si utilizamos $h=D$ el recipiente ocuparía demasiado espacio, por lo tanto utilizaremos una relación empírica $h=1.6D$ que no se apartará mucho del mínimo de superficie.

$$D = \sqrt[3]{4(65)/\pi 1.6} = 4.17 \text{ m.}$$

$$h = 6.68 \text{ m.}$$

$$\Delta t = 200 - 30 = 170^\circ\text{C}$$

$$Q_1 = 1513280 \text{ Btu/hr.} \times \frac{\text{Kcal.}}{3.968 \text{ Btu}} = 381370 \text{ Kcal/hr.}$$

El material utilizado será hierro, U para hierro y recipiente agitado = 179.

$$A = 381370/(170)(179) = 12.5 \text{ m}^2$$

Altura de la chaqueta:

$$12.5/\pi(4.17) = 0.96 \text{ m.}$$

III.- FILTRO DE MOSTO

$$V = 50 \text{ m}^3$$

$$f = 1.2$$

$$V \text{ corregido} = 60 \text{ m}^3$$

$D = 1.6h$ (para no hacer demasiado alto el lecho filtrante)

$$D = \sqrt[3]{\frac{4(60)1.6}{\pi}} = 4.96 \text{ m.}$$

$$h = D/1.6 = 3 \text{ m.}$$

IV.- OLLA DE COCIMIENTOS:

$$V = 66 \text{ m}^3$$

Como la ebullición debe ser rigurosa, empíricamente se calcula la olla para un volumen 1.3 veces mayor que el de llenado.

$$66 \times 1.3 = 85.8 \text{ m}^3$$

$D = h$ (nos dará el recipiente más económico)

$$D = \sqrt[3]{\frac{4(85.8)}{\pi}} = 4.8 \text{ m}$$

$$H = D = 4.8 \text{ m.}$$

Tendrá una cúpula circular con las siguientes dimensiones:

$$r = 1/2 h(\sqrt{\pi r_1^2} + \sqrt{\pi r_2^2}) + 1/6 \pi h$$

$$r_1 = 2.4 \text{ m.}$$

$$r_2 = 0.3 \text{ m (radio del tiro de la chimenea)}$$

$$h = 2 \text{ m.}$$

La olla estará equipada con percoladores (tubos huecos con enchaquetado para vapor), cuyas funciones serán de calentamiento y agitación del mosto (esto se logra debido a la diferencia de densidades que se produce en cada percolador vertical provocando corrientes por convección).

Dimensiones del percolador: La transferencia de calor deberá ser suficiente para la evaporación requerida al llenar la olla:

$$h = 1.6 \text{ m.}$$

$$d_1 = 0.5 \text{ m.}$$

$$d_2 = 0.6 \text{ m.}$$

$$U_c = 1220 \text{ (para acero inoxidable 304).}$$

$$R_d = 0.0001 \quad h_d = 10000$$

$$U_d = U_c h_d / U_c + h_d = (1220)(10000)/(1220 + 10000) = 1000$$

$$A = Q/U_d \Delta t = \frac{1777380}{1000(200 - 92)} = 16.45 \text{ m}^2$$

Area de transferencia de un percolador:

$$A_1 = \pi d h = \pi (0.5)(1.6) = 2.51 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \pi d h = \pi (0.6)(1.6) = 3 \text{ m}^2$$

$$\text{Area total} = 5.51 \text{ m}^2$$

Por lo tanto se necesitarán 3 percoladores.

Para el calentamiento inicial del mosto la olla tendrá un enchaquetado en el fondo, de esta manera rápidamente se cubrirá la superficie calefactora y no habrá mucho riesgo de caramelizaciones.

$$U_c = 913 \text{ Kcal/hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (para acero inoxidable 304).}$$

$$R_d = 0.001$$

$$h_d = 1000$$

$$U_d = (913)(1000)/(913 + 1000) = 477.$$

Es necesario calcular el volumen de extracto que tendrá la olla al empezar a tapar los percoladores:

$$V = \pi D^2 h / 4 = 3.1416(4.8)^2(1.6) / 4 = 28.95 \text{ m}^3$$

$$28.95 \times 1.07 \times 100 = 3092$$

$$Q = 927,790$$

$$\text{Area de calentamiento} = \frac{927790}{477(200 - 92)} = 18 \text{ m}^2$$

$$\text{Area del fondo} = \pi(4.8)^2/4 = 18 \text{ m}^2$$

O sea que será necesario enchaquetar todo el fondo del recipiente.

V.- TANQUE DE MOSTO CALIENTE

Será un tanque cilíndrico, vertical, con fondo cónico y una entrada tangencial para el mosto. Esto es con objeto de que por efecto centrífugo las partículas más pesadas se depositen rápidamente en el fondo del cono, para ser separadas del mosto en forma de trub caliente.

$$V = \frac{\pi D^2 h_1}{4} + \frac{1}{3} \pi (D^2 h_2/4)$$

$$h_1 = 1.2 D$$

$$h_2 = 30 \% h_1$$

$$fs = 1.1 V$$

$$630 \times 1.1 = 69.3 \text{ m}^3.$$

Despejando D de la ecuación anterior:

$$D = 4 \text{ m.}$$

Por lo tanto:

$$h_1 = 4.8 \text{ m.}$$

$$h_2 = 1.2 \text{ m.}$$

$$h_T = 6 \text{ m.}$$

El tanque será de fierro, con una delgada placa de acero inoxidable que cubra las paredes internas.

VI.- ENFRIADOR DE PLACAS

En el mercado, de acuerdo con su capacidad hay tres tipos de enfriadores de placas que pueden servirnos:

Descripción:

- a) superficie de calentamiento por placa (m^2).
- b) longitud de placa (m).
- c) ancho de placa (m)
- d) espesor de placa ($m \times 10^{-5}$).
- e) distancia entre placas ($m \times 10^{-5}$).
- f) flujo permisible por canal (litros/hora).
- g) flujo máximo por unidad (litros / hora).
- h) presión máxima de diseño (Kg/m^2).

Características:

	A	B	C
a	0.143	0.234	0.54
b	0.64	0.823	1.28
c	0.213	0.274	0.426
d	72	81	89
e	291	354	519
f	350-890	1020-3050	3960-8490
g	15848	45846	127350
h	1.5	3.0	5.0

De la tabla anterior seleccionaremos el tipo de cambiador más conveniente; el número de unidades va a estar determinado por el flujo de salmuera.

$$\text{TIPO A} = 12,244.6/15848 = 0.77 \text{ unidades}$$

$$\text{TIPO B} = 12,244.6/45846 = 0.26 \text{ unidades}$$

$$\text{TIPO C} = 12,244.6/127350 = 0.09 \text{ unidades}$$

Como se observa el más cercano a nuestros requerimientos es el tipo A.

VII.- TANQUE DE VERIFICACION

Será un recipiente abierto, de acero inoxidable, superficie extendida y forma rectangular:

$$V = 69.3 \text{ m}^3$$

$$\text{ancho} = 3 \text{ m.}$$

$$\text{alto} = 3 \text{ m.}$$

$$\text{largo} = 7.7 \text{ m.}$$

VIII.- TANQUE DE FERMENTACION Y REPOSO

Utilizaremos el sistema más moderno, que son fermentadores de acero inoxidable, verticales y con fondo cónico. El objeto de el fonso cónico será que al depositarse la levadura en él, se facilite su salida al finalizar la fermentación.

La chaqueta superior de enfriamiento será de acero ELC

$$U_D = 75$$

$$\text{factor de obstrucción} = 0.001$$

$$\text{presión máxima} = 10 \text{ lb/in}^2$$

$$Q = UA \Delta t$$

$$A = Q/UA\Delta t = 5,786 / (75)(5-0) = 15.4 \text{ m}^2$$

A la salmuera de enfriamiento (a 0°C) se le adiciona rá: cloruro de sodio para evitar precipitados insolubles bicromato de sodio (3.2 Kg/m³ de salmuera) y suficiente sosa cáustica para alcalinidad.

$$V = \pi D^2 h_1 / 4 + 1/3 (\pi D^2 h_2 / 4)$$

$$h_1 = 1.2$$

$$h_2 = 0.20 h_1$$

$$\text{factor de seguridad} = 1.1 V$$

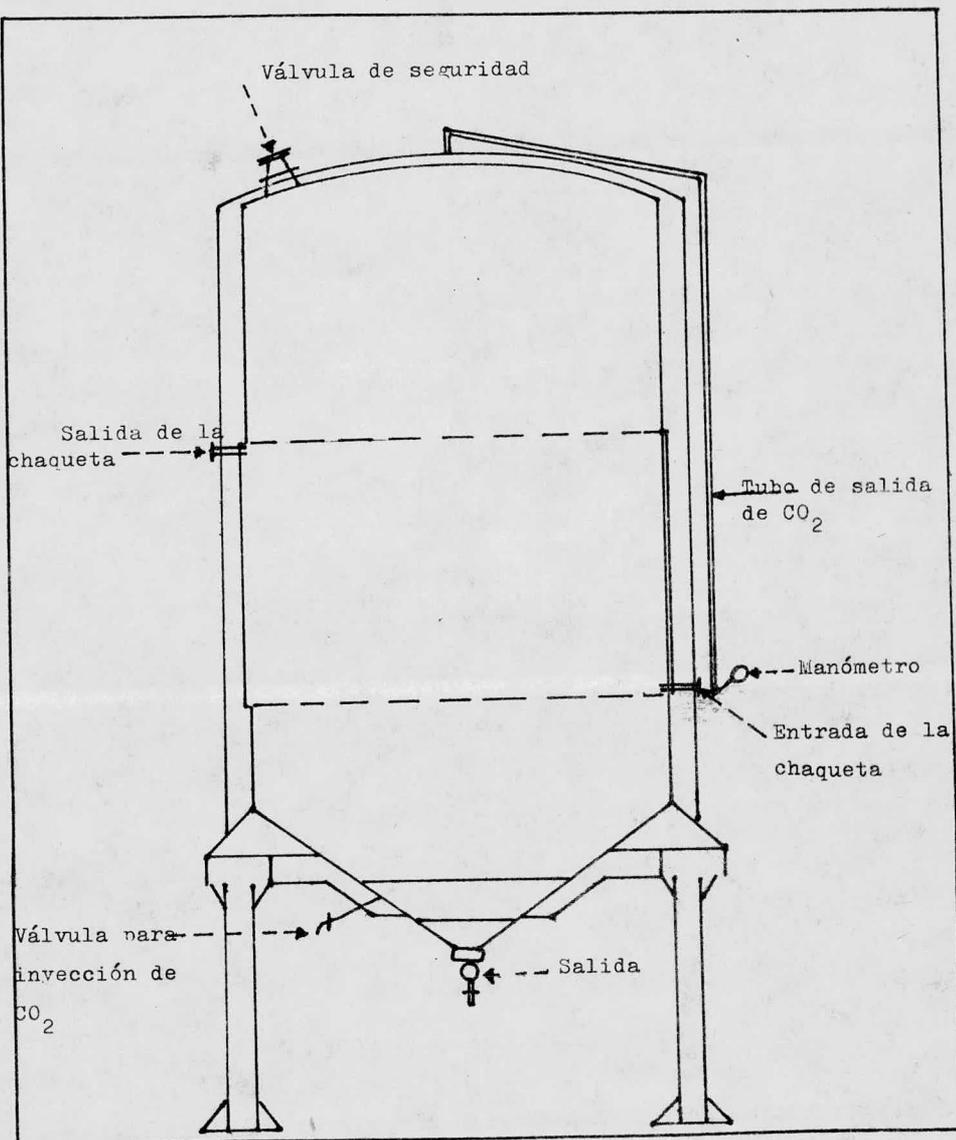
$$V = 59,908 \times 1.1 = 65,899 \text{ m}^3$$

$$D = 3.73 \text{ m.}$$

$$h_1 = 4.47 \text{ m.}$$

$$h_2 = 0.74 \text{ m.}$$

Tanque para fermentación



Altura de la chaqueta de enfriamiento:

$$h = A/\pi D = 15.4 / \pi (3.73) = 1.31 \text{ m.}$$

IX.- TANQUE DE GOBIERNO

Será igual que el anterior pero sin fondo cónico.

CONCLUSIONES

Dentro de este estudio se ha tratado de dar información suficiente acerca de la mecánica bioquímica que sigue el proceso, así como las últimas novedades que existen en el diseño del equipo cervecero, acompañado todo esto con una serie de generalidades que difícilmente se podrían encontrar reunidas en un mismo trabajo escrito en español.

El proceso cervecero, a pesar de ser casi exclusivamente un proceso bioquímico, representa un excelente campo para todas las ramas de la Ingeniería, ya que la diversidad de situaciones que se presentan requiere de un personal cada día más especializado, que sea capaz de seguir impulsando el desarrollo de esta importante industria.

OBRAS CONSULTADAS

- Perry J.H. -Chemical Engineers' Handbook.
Mc Graw Hill (1962)
- Clerke Jean De -A Text Book of Brewing (Vol. I v II)
Chapman and Hall (1957)
- Kern Donald Q. -Process Heat Transfer
Mc Graw Hill (1971)
- Treybal Robert E. -Mas Transfer Operations
Mc Graw Hill (1968)
- Vilbrandt Frank C. -Chemical Engineering Plant Design
Mc Graw Hill (1965)
- Hougen A. Olaf, Watson Kenneth M., Ragartz Roland A. -
-Chemical Process Principles (Vol. I, II yIII)
- Hough J.S. - Malting and Brewing Science
Chapman and Hall Ltd. (1975)