

Diseño y fabricación de prototipo de línea de proceso para la elaboración de cerveza con fines educativos

Wladir B. Valderrama Barandiarán

BIBLIOTECA WILSON POPENO
ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA
APARTADO 43
TEGUCIGALPA HONDURAS

Honduras
Diciembre, 2002

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA

Diseño y fabricación de prototipo de línea de proceso para la elaboración de cerveza con fines educativos

Trabajo de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Agroindustria en el Grado
Académico de Licenciatura

Presentado por:

Wladir Boris Valderrama Barandiarán

Honduras
Diciembre, 2002

El autor concede a Zamorano permiso
para reproducir y distribuir copias de este
trabajo para fines educativos. Para otras personas
físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.



Wladimir Boris Valdegrana Barandiarán

Honduras
Diciembre, 2002

DEDICATORIA

A mi padre y madre Rosario Barandiarán Chú.

A mis abuelos Clara Chú Wong y Alfonso Barandiarán Paz (Q.D.D.G).

A la gente que confía en mí.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la fuerza que me ha dado para superar las metas y seguir creciendo como persona y profesional.

A mis queridas madres, Rosario Isabel Barandiarán Chù y Clara Chù Wong por enseñarme desde siempre el valor del trabajo y de la honestidad, su ejemplo es mi mayor orgullo en esta vida.

A la Familia Flores por los momentos vividos, por escucharme, por sus consejos y darme la entrada a su bello hogar.

A la familia Revilla, por darme el más claro ejemplo de trabajo y familia.

A mis asesores, Edward Moncada, Adela Acosta, y Enrique Barros por su ayuda, consejos y paciencia en la realización de este proyecto.

A Don Andy Cole Valle por enseñarme lo que realmente es un Zamorano.

Al personal de la Planta de Procesamiento de Granos, en especial a Marvin Funes por sus palabras de aliento y su interés, a Camilo Valerio por su amistad y sinceridad, y a Efraín por su ayuda en todo momento.

Al Maestro cervecero de la Cervecería Hondureña, Rossman Palma por su tiempo y consejos.

A mis hermanos de la Carrera de Agroindustria, Dúther López, Hugo Luis Padilla, Karla Orellana, Silvana Arias, Reina Cáliz, Pedro Valiente, por estar conmigo y soportarme cuando no tenían que hacerlo. Éxitos amigos.

A la gente con que alguna vez compartí una sonrisa o una pena, a los amigos que se fueron y los que vendrán.

AGRADECIMIENTOS A PATROCINADORES

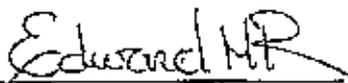
A mi familia, a la Cooperación Suiza para el Desarrollo (COSUDE) por los tres primeros años de estudio y a la fundación Nippon por permitirme concluir el cuarto año.

RESUMEN

Valderrama, Wladir. 2002. Diseño y Fabricación de prototipo de línea de proceso para la fabricación de cerveza con fines educativos. Proyecto de Graduación del Programa de Ingeniería en Agroindustria, Zamorano, Honduras. 70 p.

Con el fin de contribuir al fortalecimiento del Aprender-Haciendo en la planta de procesamiento de granos de Zamorano, se diseñó y construyó una línea de proceso para la producción de cerveza Lager. La línea consta de un tanque de extracción de malta, un tanque de estandarización y aromatización, ambos con capacidad de 0.0169m^3 , un intercambiador de calor de tubo y coraza cuyo medio de enfriamiento es agua con hielo, con un coeficiente global de transferencia de calor de $U= 738.75 \text{ W/m}^2\text{C}$, la línea es alimentada por energía eléctrica de 110W. El movimiento de fluidos a través de la línea se realiza por gravedad. Adicionalmente, se generó una formulación básica de cerveza Lager. Se evaluó el funcionamiento de la misma elaborando 5 tandas de cerveza. Se aplicó el análisis univariado con la finalidad conocer las medias, errores estándar y coeficientes de variación de las entradas, salidas y acumulaciones de los balances de masa realizados, tanto de agua como de sólidos, con la finalidad de identificar los flujos de materiales dentro del sistema. Se determinaron tiempos de la operación de extracción de malta a 62, 72 y 75°C, los cuales fueron 72.8 ± 2.28 , 25.4 ± 2.88 , 33.88 ± 1.3 , minutos respectivamente, el periodo de estandarización fue de 73.60 ± 5.13 minutos. Finalmente, se evaluaron características físicas del producto, después de fermentación de 30 días en cámara fría a 15°C, como densidad, pH, grado alcohólico encontrándose que la línea de proceso era capaz de producir en promedio 9.76 litros de cerveza, con 1.01 g/cm^3 , 4.5% de alcohol por volumen, demostrándose la factibilidad técnica de la línea construida.

Palabras claves: Aprender-Haciendo, Lager, Operaciones unitarias.


Edward Moncada, M.A.E.

NOTA DE PRENSA

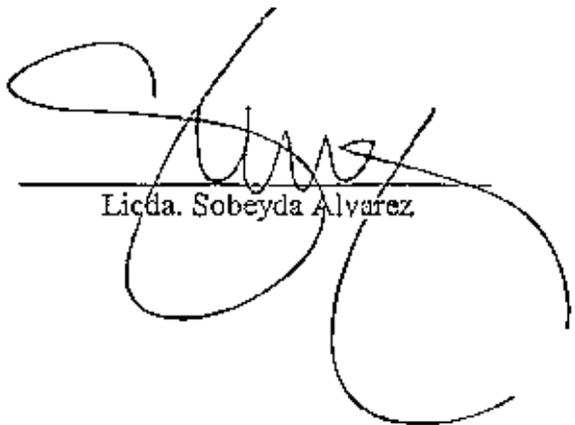
NUEVOS HORIZONTES PARA ZAMORANOS, LA INDUSTRIA CERVECERA.

La industria cervecera es una de las más importantes para la economía de muchos de países latinoamericanos, no sólo por la cantidad de empleos que genera sino también por su aporte a la economía nacional, teniendo en cuenta lo anterior, la Planta de Procesamiento de Granos de Zamorano, en su afán de innovar y mejorar continuamente el componente del "Aprender Haciendo", realizó un estudio para el diseño y fabricación de una nueva línea de cervecría con propósitos educativos.

A partir de enero de 2003 en adelante, los estudiantes de la Carrera de Agroindustria de tercer año, tendrán la oportunidad de aplicar los conocimientos aprendidos en el proceso de elaboración de cerveza Lager, elaborada a partir de malta de cebada.

El estudio comprendió tres aspectos: diseño de la línea de proceso, en la cual se elaboraron los diagramas de construcción y se incluye la memoria de cálculo, fabricación, la cual se desarrollo parcialmente en la Zamoempresa de Servicios Agrícolas, los tanques de acero inoxidable se fabricaron en un taller de la ciudad de Tegucigalpa, adicionalmente se elaboró un manual de operación, el cual fue validado tanto con el personal técnico, como con estudiantes de tercer año de la Carrera de Agroindustria. Por último, se caracterizó el desempeño de la misma, elaborando 5 tandas de cerveza de 9.76 litros. cada uno, no se realizaron análisis sensoriales del producto.

La cerveza obtenida de la línea de proceso en Zamorano se encontró dentro de los parámetros internacionales en cuanto a grado alcohólico, pH y gravedad específica. La producción con fines educativos de cerveza, integra los conocimientos de gran parte del pñsum académico de la Carrera de Agroindustria.



Licda. Sobeyda Alvarez

CONTENIDO

	Portadilla	i
	Autoría	ii
	Página de firmas	iii
	Dedicatoria	iv
	Agradecimientos	v
	Agradecimiento a patrocinadores	vi
	Resumen	vii
	Nota de prensa	viii
	Contenido	ix
	Índice de cuadros	xi
	Índice de figuras	xii
	Índice de anexos	xiii
1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	GENERALIDADES	1
1.2	OBJETIVOS.....	2
1.2.1	Objetivo general	2
1.2.2	Objetivos específicos	2
2	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1	CONCEPTOS BÁSICOS.....	3
2.1.1	Aprender-haciendo.....	3
2.1.2	Bebidas fermentadas a partir de granos	3
2.1.3	Cerveza.....	3
2.2	TIPOS DE CERVEZA.....	4
2.2.1	Lager, cerveza de fermentación de fondo.....	4
2.2.2	Ale, cerveza de fermentación de superficie.....	5
2.3	ELABORACIÓN DE CERVEZA.....	5
2.3.1	Producción de malta.....	7
2.3.1.1	Remojo	7
2.3.1.2	Germminación	8
2.3.1.3	Secado.....	8
2.3.2	Producción de caldo.....	9
2.3.2.1	Molido de la malta.....	9
2.3.2.2	Maceración	10
2.3.2.3	Separación del caldo.....	11
2.3.2.4	Cocción del caldo.....	12
2.3.2.5	Centrifugación.....	12

2.3.3	Fermentación del caldo.....	13
2.3.2.6	Enfriado del caldo.....	13
3	MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1	UBICACIÓN	15
3.2	EQUIPOS UTENSILIOS Y SUMINISTROS	15
3.2.1	Diseño y construcción de la línea	15
3.2.2	Pruebas de desempeño	16
3.2.3	Programas de aplicación (Software)	16
3.3	METODOLOGÍA	16
3.3.1	Investigación de literatura	16
3.3.2	Diseño y manufactura de la línea de proceso	16
3.3.3	Pruebas de desempeño y caracterización	17
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
4.1	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA LÍNEA DE PROCESO	19
4.2	COSTO DE LA LÍNEA DE PROCESO.....	20
4.3	CARACTERIZACIÓN DE LA LÍNEA DE PROCESO	20
4.4	BALANCE DE MASA	24
4.5	TIEMPO DE PROCESO	27
4.6	CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO	28
5	CONCLUSIONES	29
6	RECOMENDACIONES	30
7	BIBLIOGRAFÍA	31
8	ANEXOS	33

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		
1	Costo de producción por tanda de 9.76 l.....	20
2	Tiempo de maceración en tanque 1.....	27
3	Tiempo de estandarización a 12°Brix en tanque 2	28
4	Caracterización de la cerveza obtenida	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		
1	Diagrama de flujo de proceso industrial de producción de cerveza.....	6
2	Tiempos y temperaturas de maceración de malta de cebada	11
3	Línea de proceso de cerveza Lager tipo "Zamorano".....	19
4	Flujo másico de tanque 2, en función del tiempo.....	22
5	Balance de masa (Agua, tanque 1).....	25
6	Balance de masa (Sólidos, tanque 1).....	25
7	Balance de masa (Agua, tanque 2).....	26
8	Balance de masa (Sólidos, tanque 2).....	26

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		
1	Incremento de temperatura promedio por minuto.....	33
2	Descenso de temperatura de tanque 1 en 20 minutos.....	33
3	Temperatura de ebullición en Zamorano.....	33
4	Detalle de balance de agua y sólidos de tanque 1.....	34
5	Detalle de balance de agua y sólidos de tanque 2.....	35
6	Flujo másico de agua cada 60 segundos.....	36
7	Vista de planta de tanque 1 ensamblado, sin cubierta ni agitador.....	37
8	Corte de tanque 1 ensamblado, sin motor.....	38
9	Corte y vista de planta del plenum (tanque 1).....	39
10	Corte de tanque 1 con detalle del agitador.....	40
11	Detalle del tanque 2 con cubierta con llave ensamblada.....	41
12	vista de planta de tanque 2 sin cubierta, con llave ensamblada.....	42

13	Corte de tanque 3, incluyendo tubería de cobre.....	43
14	Vista Frontal del la línea de proceso (no incluye el molino).....	44
15	Vista de planta de la línea de proceso (no incluye el molino).....	45
16	Imágenes del proceso de construcción de la línea.....	46
17	Resultados de balance de agua y sólidos de tanque 1.....	48
18	Resultados de balance de agua y sólidos de tanque 2.....	49
19	Costo total de materiales usados.....	50
20	Costo Fijo de formulación por tanda de 9,76 l.....	51
21	Manual de operación.....	52

1. INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

Según Saldívar (1996), desde el conocimiento más remoto de la historia los cereales han sido considerados como la columna vertebral de la agricultura y la fuente más abundante de alimentos.

Chaven y Kandam (1989), mencionan que los cereales son cultivos que poseen gran cantidad de energía, contienen entre 10,000 – 15,000 kJ/kg, y tienen entre 10 y 20 veces más energía que la mayoría de frutas y vegetales suculentos, nutricionalmente son importantes fuentes de proteína, carbohidratos, complejo B, vitamina E, hierro, minerales traza y fibra. Se ha estimado que el consumo global de cereales provee directamente el 50% de la proteína y la energía necesaria para la dieta humana y adicionalmente el 25% de la proteína y energía vía alimento para ganado.

Según Betschart (1982) citado por Haard *et al.* (1999), los cereales tienen una variedad de usos alimenticios. Los cereales, por general, se consumen cocinados, ya sea directamente en forma de grano, harina, almidón, o como semolina. Otro uso común de los cereales es la preparación de bebidas alcohólicas como el whisky y cerveza (cebada y sorgo), vodka (trigo), bourbon americano (centeno), sake japonés (arroz), etc. Existe una variedad única de alimentos indígenas fermentados además del pan y bebidas alcohólicas, que también son producidos en regiones del mundo que dependen principalmente de fuentes vegetales de proteína y calorías.

Según Borstrom (1968), la fermentación es la forma más antigua conocida de biotecnología alimentaria, evidenciada en la conversión de cebada en cerveza, la cual data de hace más de 5,000 años.

De acuerdo con Streinkraus (1995) citado por Haard *et al.* (1999), la fermentación tradicional de los alimentos posee múltiples funciones entre las que podemos encontrar:

- Enriquecimiento de la dieta a través del desarrollo de diversidad de sabores, aromas y texturas en los substratos alimenticios.
- Preservación de cantidades substanciales de alimento a través de la fermentación ácido láctica, alcohólica, acética y alcalina.
- Enriquecimiento biológico de los substratos alimenticios, con proteína, aminoácidos esenciales, ácidos grasos esenciales y vitaminas.
- Detoxificación durante el proceso de fermentación de los alimentos.
- Decrecimiento del tiempo de cocción y requerimientos de combustible.

Desde un punto de vista económico, la fermentación más importante es la fermentación alcohólica, y la elaboración de cerveza constituye la mayor industria biotecnológica del mundo (Byong, 1996).

Actualmente en el Aprender Haciendo de la planta de procesamiento de granos de Zamorano, no es posible mostrar de forma práctica e integral uno de los procesos más importantes de la industria derivada de cereales, la fermentación alcohólica de granos, entre la que destaca la producción de cerveza. Ésta es importante no sólo por la cantidad de empleos que genera, sino también por la rentabilidad propia de la industria.

Esta carencia de equipo que pueda mostrar el proceso de elaboración de cerveza representa una debilidad para el sistema de Aprender Haciendo, debido a que no se cuenta con un proceso que muestre los aspectos técnicos sobre la fermentación de cereales. Actualmente solo es posible dar una explicación teórica sobre el tema.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

- Diseñar e implementar una línea de proceso para fabricar cerveza que sea utilizada como componente del Aprender Haciendo, en la planta de procesamiento de granos de Zamorano.

1.2.2 Específicos

- Diseñar e implementar la línea de proceso en una escala demostrativa.
- Caracterizar la línea de proceso.
- Desarrollar el manual de operación de la línea de proceso.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 CONCEPTOS BÁSICOS

Para una comprensión más clara del proyecto, se aclararán los siguientes conceptos.

2.1.1 Aprender haciendo

Aprender haciendo es parte de las ventajas competitivas de Zamorano, se trata de un modelo constructivista del pensamiento, donde el estudiante participa de su propio aprendizaje de manera experiencial, desarrollando habilidades y destrezas en un contexto de racionalidad y de sistemas¹.

2.1.2 Bebidas fermentadas a partir de granos

Según Hardwick (1995), muchas bebidas alcohólicas pueden ser consideradas cervezas, por que provienen de granos que han tenido algún tipo de germinación. Este paso de germinación favorece el desarrollo de enzimas amilolíticas que son necesarias para hidrolizar el almidón de los granos y reducirlo a azúcares fermentables. Estas cervezas pueden o no ser elaboradas con la adición de lúpulo, y estas encajan escasamente entre la clasificación de lager o ale. La mayoría de estas cervezas no son filtradas y por lo tanto, difieren de las cervezas clásicas en su contenido nutricional, son significativamente más nutritivas. Un buen ejemplo de una cerveza de grano es la cerveza africana de sorgo o Kuffir.

2.1.3 Cerveza

El término "cerveza" es una expresión genérica para designar al producto originalmente obtenido por fermentación de un extracto acuoso de malta, que abarca tanto lo que en la Gran Bretaña se denomina ale, una bebida a la que se añade lúpulo, con o sin adición de otras fuentes de carbohidratos, fabricada con levaduras de fermentación de superficie, como a aquellas otras bebidas de malta a las que se añade lúpulo y son fermentadas con levaduras de fermentación de fondo. Su producción se basa en procesos biotecnológicos que incluyen la germinación de la cebada para producir malta, la maceración de adjuntos cerveceros ricos en almidón con enzimas generadas durante el malteo con la posterior

¹ Contreras, M. 2002. Que es el Aprender Haciendo. Zamorano, (Hond.) (comunicación personal).

aromatización del mosto dulce con lúpulo (*Humulus lupulus*) y, finalmente, con la fermentación del mosto aromatizado con levadura (Rojas y Saldívar, 2001).

Según Belitz y Grosh (1988), la cerveza es una bebida alcohólica elaborada fundamentalmente a partir de cebada malteada, lúpulo levadura y agua. Además de la cebada malteada desempeñan un papel similar otras materias primas que contienen almidón y/o azúcar, por ejemplo, diversas clases de maltas (malta de trigo), cereales sin maltear llamados granos crudos (cebada, trigo, maíz, arroz, entre otros), almidón, productos de la degradación del almidón y azúcar. Las mencionadas materias primas exigen a veces la incorporación de preparados enzimáticos microbianos.

Según Kunze (1999), la cerveza es una de las bebidas más antiguas de la historia, la más antigua mención de cerveza fue encontrada en Mesopotamia, 2,800 años antes de Cristo en tablillas de barro, en escritura cuneiforme, describiendo la distribución de la ración diaria de cerveza y pan a la fuerza laboral, adicionalmente a esto la producción y distribución de cerveza era regulada por las leyes del rey Babilónico Hammurabi (1728-1686 a.c). En el antiguo Egipto también fue una bebida ampliamente difundida, lo cual se puede apreciar en las numerosas ilustraciones y escrituras encontradas en tumbas. En Europa fue la bebida más difundida entre las tribus germanas como los Celtas. El cambio a la industrialización de la cerveza ocurrió con los monasterios cristianos, en donde la cerveza no era producida solamente para consumo propio sino también para ser usada como pago a terceros.

2.2 TIPOS DE CERVEZA

En un sentido estricto existen dos tipos de cerveza clásica, las de fermentación de fondo y las de fermentación de superficie, las Lager representan las de fermentación de fondo y las Ale representan las de fermentación de superficie, existen otras clasificaciones de cerveza, que no depende de que la fermentación sea alta o baja (Hardwick, 1995).

2.2.1 Lager, cerveza de fermentación de fondo

Según Kunze (1999), la cerveza lager es la más difundida mundialmente. El término "fermentación de fondo" deriva del comportamiento de la levadura, la levadura lentamente se deposita en el fondo del fermentador, la levadura de fermentación de fondo (*Saccaromyces cerevisiae*) flocula y se deposita cuando la fermentación desacelera y la generación de CO₂ no proporciona una agitación suficiente para mantenerlas a flote. (Hardwick, 1995).

Según Belitz y Grosh (1988), estas levaduras pueden utilizarse hasta los 0°C.

Hardwick, (1995), menciona que la palabra Lager proviene del verbo alemán Lagern, que significa descansar, o almacenar, las cervezas Lager son almacenadas después de que la fermentación es completa para permitir la maduración del sabor, separación de la levadura y otros cambios que mejoran la calidad de la cerveza.

2.2.2 Ale, cerveza de fermentación de superficie

Son llamadas así por que la levadura (*Saccharomices Carlsbergensis*) sube lentamente a la superficie del caldo de fermentación. Esto permite que esta acumulación sea removida, algunas levaduras se depositarán en el fondo, las cuales serán descartadas (Hough *et al.*, 1982 citado por Hardwick, 1995).

Las Ale varían considerablemente en amargor, color, dulzor, y aspereza. Una Pale Ale es de color claro, alta en amargor, y baja en dulzura. Una Mild Ale es moderadamente amarga, relativamente dulce, y de color oscuro. Las Darker Ale son generalmente llamados Ale marrones, son generalmente oscuras, suave, y dulces. El color oscuro de las Ales, es causado por la adición de malta tostada a los adjuntos cerveceros (Hardwick, 1995).

2.3 ELABORACIÓN DE CERVEZA

El proceso de elaboración de cerveza que se describirá, será el de la cerveza genuina a partir de cebada.

El uso de los cereales en la industria cervecera se puede dividir en dos áreas principales: la malta que provee del sistema requerido para hidrolizar, extraer y desarrollar el perfil de sabor deseado y los adjuntos que, provenientes de fracciones de molienda o derivados como jarabes, proveen carbohidratos necesarios para dar cuerpo a la cerveza y sustrato a la levadura durante el importante paso de fermentación (Saldivar, 1996).

Según Kunze (1999), entre los puntos mas importantes de la elaboración de cerveza tenemos:

1. Producción de malta.
2. Producción de caldo de fermentación.
3. Fermentación, maduración y filtración.

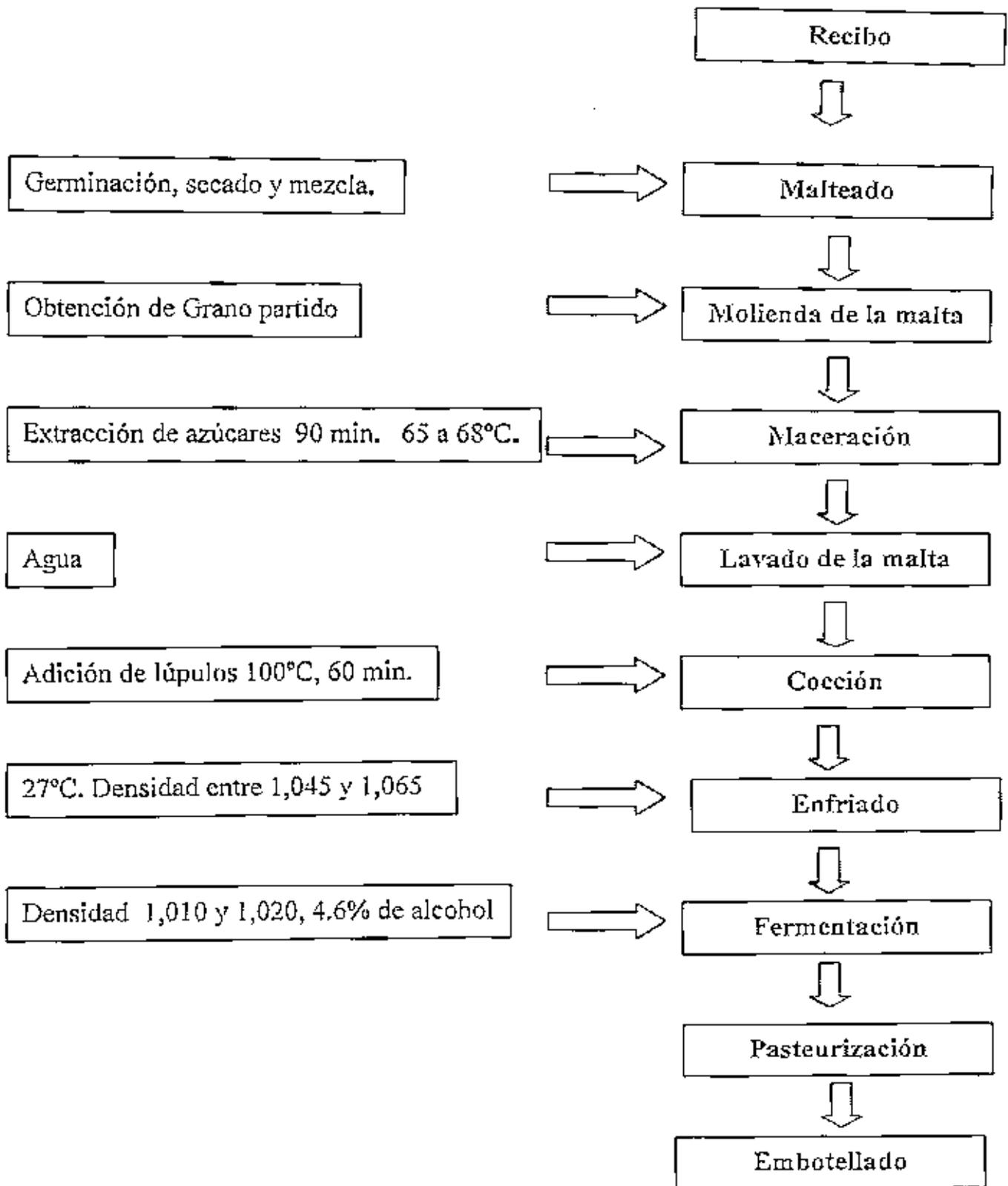


Figura 1. Diagrama de flujo de proceso industrial de producción de cerveza (Saldívar, 1996).

2.3.1 Producción de malta

Según Saldívar (1996), el proceso de malteado se define como la germinación del grano bajo condiciones controladas seguido por un secado lento y cuidadoso, esto con el objetivo de preservar la máxima actividad enzimática posible, la cual servirá para degradar los almidones del mismo grano.

La cerveza no se puede elaborar sin malta, consecuentemente la producción de malta de cebada es el primer paso en la producción de cerveza, esto es por supuesto posible con otros cereales como por ejemplo: trigo, centeno, sorgo o mijo, pero históricamente por varias razones la malta de cebada ha sido la más usada. Para producir 100 litros de cerveza con un extracto original de 11%, son requeridas aproximadamente 17 kg de malta (Kunze, 1999).

El mismo autor menciona que por razones económicas parte de la malta es reemplazada por cereal no malteado u otras fuentes de carbohidratos.

Antes de empezar la operación de malteado, la cebada debe pasar por un proceso de limpieza, en donde es retirado todo material contaminante o que no va a germinar, es seleccionada de acuerdo al tamaño de grano y almacenada hasta ser procesada. Los granos de cebada se separan de acuerdo al tamaño. Granos grandes y medianos de cebada, retenidos en tamices con aberturas de 2.5, 2.4, 2.2 y 2.0 son malteados separadamente. La cebada que pasa a través de tamices de 2.2 o 2.0 es muy pequeña para maltear y es vendida como alimento (Hardwick, 1995).

El mismo autor indica que el proceso de malteado tiene las siguientes fases: Remojo, germinación y secado.

2.3.1.1 Remojo. El crecimiento del grano es iniciado por la absorción de agua en tanques de fondo cónico, el agua, que debe estar de 12 a 16°C y el aire, el cual se inyecta por separado, son proveídos por un periodo de 40 a 48 horas. El agua entra al embrión a través del micropilo, hasta que el contenido de humedad de los granos aumenta de 44 a 46%, el agua es cambiada cada 6 u 8 horas y nunca es reciclada. El remojo inicial remueve polvo de la superficie, tierra y microorganismos y también lava algunos taninos. La absorción de agua depende del tiempo de remojo, temperatura, tamaño de grano y variedad de la cebada. La absorción de agua ocurre rápidamente al principio y luego disminuye con el tiempo (Hardwick, 1995).

Mientras mayor sea la temperatura del agua de remojo, mayor es la velocidad de absorción de agua en el grano, los granos de cebada más pequeños absorben agua más rápido que los grandes (Kunze, 1999).

Durante el remojo, el aire comprimido es burbujeado a través del tanque de malteado para que agite la cebada y asegurar que todas las superficies sean lavadas. Las aeraciones sirven también para retirar el dióxido de carbono formado como producto de la respiración en la fase inicial del crecimiento (Hardwick, 1995).

2.3.1.2 Germinación. Del tanque de remojo, la cebada cae por gravedad o es cuidadosamente transferida al recipiente de germinación. Durante un periodo de 4 días a 13 – 16°C y 100% de humedad, la cebada crece. Esta cama es lentamente mezclada por una máquina para prevenir que las raicillas se enreden entre sí y para promover un crecimiento uniforme de toda la cama, la raicilla crece por debajo del grano, alrededor de $\frac{1}{4}$ del largo del grano. El calor y el CO₂ son los principales productos que se generan por la actividad respiratoria del grano, la cual provee la energía requerida para continuar con los cambios germinativos (Harvick, 1995).

El mismo autor menciona que usando grandes volúmenes de aire y agua se controla la temperatura y se remueve el CO₂. Se considera que la germinación se ha completado cuando el endospermo está enteramente modificado, lo que significa:

- Que las paredes celulares se han disuelto para exponer el interior almidonoso de las células.
- Las enzimas catabólicas se han formado lo cual va a convertir las moléculas de carbohidratos de alto peso molecular en moléculas de bajo peso molecular y azúcares.
- Hay degradación de algunas proteínas a péptidos solubles, estos péptidos enriquecerán a la levadura durante el proceso de fermentación y otros van a permanecer en el producto final proveyendo la sensación bucal y la textura.

2.3.1.3. Secado. El secado puede hacerse en el mismo recipiente en el que ocurrió la germinación. Para prevenir desnaturalización de las enzimas requeridas para el proceso de cervecería, la malta verde, es secada lentamente. La temperatura del aire de secado incrementa de 50°C, con varios gradientes, hasta una temperatura final de 80°C. El aire forzado a través de la cama, gradualmente disminuye el contenido de humedad de la malta hasta un 4%. La remoción del agua es relativamente fácil al inicio, pero se vuelve más difícil a medida que el agua del centro del grano tiene que ser removido (Hardwick, 1995).

Kunze (1999), menciona que a temperaturas superiores a 80°C (curado) las moléculas de peso molecular bajo, resultantes de los procesos de germinación, reaccionan para formar componentes coloreados y de sabor fuerte. Estas reacciones son complejas y se denominan como reacciones de Maillard, usualmente cervezas de color cobrizo a oscuro utilizan malta curada.

Según Hardwick (1995), después del secado de la malta, las raicillas del grano son frágiles y se pueden remover fácilmente, este residuo puede ser vendido como suplemento de alimento animal rico en proteína. La malta puede ser almacenada durante varias semanas antes de ser molida y empacada. Este proceso final de molienda se realiza de acuerdo a las especificaciones del cliente.

El mismo autor señala que el rendimiento de obtención de malta a partir de la cebada es de aproximadamente 75%. Pérdidas típicas durante el proceso son: limpieza de la cebada

cruda (7-9%), respiración durante remojo y germinación (4-5%), secado de la cebada y de la malta (9-10%) y cáscara y raicillas (3-4%).

2.3.2 Producción de caldo

El proceso más importante en la elaboración de cerveza es la fermentación de los azúcares presentes en el caldo, para formar alcohol y CO₂. Para proveer las condiciones necesarias para esto, los componentes insolubles iniciales (almidones) deben ser convertidos en compuestos solubles y en particular en azúcares fermentables solubles. La formación y disolución de esos componentes constituyen el propósito de la producción del caldo, este provee el punto inicial de la fermentación en los contenedores para este propósito.

Se recomienda para el caso de micro cervecerías, en que la disponibilidad, tanto de equipo como de instalaciones no es el óptimo, utilizar equipo adecuado como mascarillas, guantes estériles, gabachas limpias, para evitar una contaminación del caldo de fermentación, así mismo, se recomienda desinfectar los equipos con una solución de 100 ppm de cloro mínimo durante media hora².

Según Kunze (1995), podemos identificar los siguientes pasos para llevar a cabo la producción del caldo de fermentación:

- 1) Molido de la malta.
- 2) Maceración.
- 3) Separación del caldo.
- 4) Cocción del caldo.
- 5) Centrifugación.
- 6) Enfriado del caldo.

2.3.2.1. Molido de la malta. Según Goldammer (2000), el objeto de moler es partir la cáscara, preferiblemente longitudinalmente, para exponer el endospermo harinoso y así tener una extracción eficiente, y la subsiguiente filtración del mosto inicial. No es recomendable moler de manera excesiva, ya que esto podría traer problemas de filtrado y podría aumentar la viscosidad del caldo de fermentación a causa de un exceso de beta glucanos, además puede ocasionar la formación de grumos durante la extracción que mantendrán el interior seco, teniendo como resultado una pérdida de eficiencia en la extracción.

La molienda puede realizarse de tres maneras diferentes, molienda seca en molinos rotatorios, molino de martillos y molienda húmeda (Kunze, 1999):

- Molienda seca, es la más común realizada mediante molinos rotatorio, dependiendo el número de rodillos pueden ser de dos hasta seis rodillos.

² Palma, R. 2002. Puntos importantes para diseño de proyecto especial. Cervecería Hondureña, (comunicación personal).

- Molino de martillos, las partículas son reducidas a tamaños más pequeños, este sistema es usado cuando se tiene un sistema de filtros adicionales, y no se usa el mismo residuo de molienda como filtro.
- Molienda húmeda, tiene la ventaja de que los granos al absorber agua, se vuelven más elásticos, el endospermo puede ser fácilmente retirado del pericarpio del grano sin ser dañado.

Para molinos rotatorios, se recomienda una separación de 0.25 a 0.30 mm de separación entre rodillos³.

2.3.2.2. Maceración. Según Hardwick (1995), la maceración es el proceso en el cual la malta y los adjuntos son mezclados con agua en un proceso controlado de calentamiento, para digerir y extraer proteínas, carbohidratos, enzimas y sustancias fenólicas, para obtener azúcares fermentables y compuestos nitrogenados para la nutrición de la levadura. Controlando el proceso de maceración es posible alcanzar un balance entre los materiales deseados y no deseados. Los errores durante este proceso no son fácilmente corregibles y pueden hacer que el resto del proceso sea muy difícil.

El mismo autor indica que la maceración es el paso más crítico de la operación de la cervecería. Dentro de los parámetros de la calidad de la malta el proceso de maceración va a determinar lo siguiente:

- El contenido de alcohol de la cerveza
- Concentración de azúcares no fermentables en la cerveza
- El perfil de péptidos y aminoácidos en el caldo
- Los nutrientes de la levadura para una robusta fermentación
- Capacidad de amortiguamiento de pH del caldo y la cerveza
- Contenido de beta - glucanos de la cerveza
- Eficiencia de la extracción de la malta

Además el proceso influye en las propiedades físicas de la cerveza, como son: la espuma, el color y la claridad.

La proporción de agua para elaborar una cerveza clara es de 4 - 5 l/kg de mezcla (malta pura o malta con adjuntos) y para una cerveza oscura 3 - 3.5 l/kg de mezcla⁴. El agua usada en la maceración debe ser esencialmente libre de dureza por bicarbonatos (<50 mg/l), las sales de calcio a menudo son adicionadas al macerado en la forma de sulfato de calcio o cloruro de calcio para alcanzar niveles de 100 a 150 mg de calcio (Ca). El Ca es una coenzima de la alfa amilasa y controla el pH del macerado (Lewis y Wahnan, 1984 citado por Hardwick, 1995).

³ Palma, R. 2002. Puntos importantes para diseño de proyecto especial. Cervecería Hondureña, (comunicación personal).

⁴ Palma, R. 2002. Puntos importantes para diseño de proyecto especial. Cervecería Hondureña, (comunicación personal).

La alfa amilasa descompone las cadenas largas de almidón en cadenas cortas de dextrinas, este proceso es optimizado entre los 72 y 75°C y es rápidamente destruido a los 80°C, el pH óptimo es de 5.6 a 5.8. La beta amilasa separa la maltosa de los finales de las cadenas no fraccionadas, esto también genera glucosa y maltotriosa, este proceso es optimizado a una temperatura de 60 a 65°C, y es muy sensible a temperaturas mayores, éste proceso es rápidamente inactivado arriba de 70°C. El pH óptimo es 5.4 a 5.5 (Kunze, 1999).

El mismo autor refiere que la ruptura de las cadenas del almidón deben ser monitoreadas ya que los residuos del almidón no degradado y dextrinas de tamaño grande podrían causar defectos, expresados como nubosidades en la cerveza.

Cuando se elabora cerveza solamente con malta de cebada, las temperaturas a las que se debe llegar son de 65°C por 20 minutos, 72°C por 20 minutos y 75°C por 20 minutos (Figura 1). En caso de utilizarse adjuntos debe seguirse lo indicado en la figura 2. En ambos casos el incremento de temperatura de maceración, no deberá ser mayor que 1°C por minuto de lo contrario se producirá un daño térmico a las enzimas³.

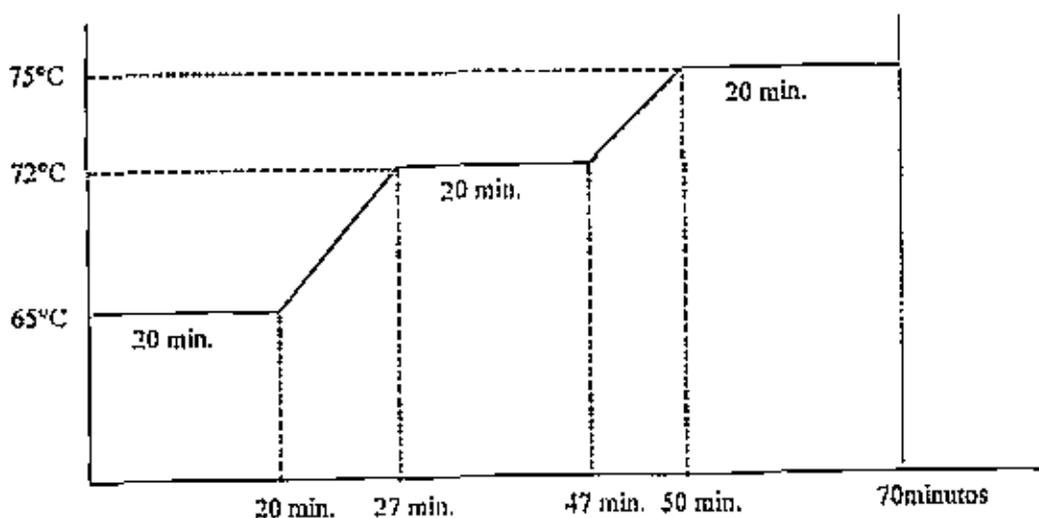


Figura 2. Tiempos y temperaturas de maceración de malta de cebada.

2.3.2.3. Separación del caldo. Según Hardwick (1999), en esta etapa del proceso, el caldo ha sido acondicionado para la fermentación, este proceso consiste en separar las partículas del grano del líquido extraído sin alterar químicamente el caldo. Principalmente se hace en un "Lauter Tun" que es el método clásico, antiguamente eran construidos de cobre, pero actualmente son de acero inoxidable, son recipientes redondos, también es posible encontrar unidades rectangulares. El filtrado es realizado por el material no

³ Palma, R. 2002. Puntos importantes para diseño de proyecto especial. Cervecería Hondureña, (comunicación personal).

soluble, ayudado por brazos giratorios con cuchillas que son puestas estratégicamente para facilitar la filtración.

Otro método es la utilización de filtros, este sistema no es ampliamente usado, se usa cuando la cama de partículas no solubles es muy delgada (Kunze, 1995).

2.3.2.4. Cocción del caldo. El caldo obtenido es hervido por una o dos horas, durante este tiempo se adiciona el lúpulo (Kunze, 1995). El lúpulo o productos de lúpulo son adicionados a la marmita de ebullición. Estos están involucrados en tres reacciones que influyen en las características del caldo: a) las sustancias amargas son extraídas y modificadas por el calor; b) los aceites del lúpulo son extraídos y reducen la tensión superficial del caldo e intervienen en reacciones complejas con otros componentes y c) los taninos y aceites esenciales del lúpulo son extraídos al caldo e influyen significativamente en el sabor de la cerveza (Hardwick, 1999).

El mismo autor refiere que, si son utilizados adjuntos como jarabes o azúcar refinada, estos se adicionan durante la cocción, estos son esterilizados y causan que estos adjuntos entren en ciertas reacciones de calor como la caramelización.

Según Kunze (1995), durante la ebullición ocurren varios procesos importantes:

- Extracción y transformación de los componentes del lúpulo
- Formación y precipitación de complejos, proteína-polifenoles
- Evaporación de agua
- Esterilización del caldo
- Destrucción de todas las enzimas
- Incremento en la coloración del caldo
- Acidificación del caldo
- Formación de sustancias reductoras
- Efectos en el contenido de dimetil sulfuro (DMS) en el caldo

Las resinas o sustancias amargas del lúpulo son los componentes más importantes del lúpulo para la producción de cerveza, ya que le otorgan el sabor amargo. Los ácidos alfa son completamente insolubles en el caldo frío. En la ebullición del caldo ocurren cambios en la estructura de los ácidos alfa, que se denomina como isomerización. Los componentes isómeros producidos son mucho más solubles de los ácidos alfa de los cuales se han formado

la isomerización de los ácidos alfa durante la ebullición no es completa. En promedio sólo cerca de un tercio de los ácidos alfa adicionados es recuperado en el caldo hervido en la forma de isómeros. Además, en los subsecuentes pasos de la producción de cerveza, cantidades importantes de sustancias amargas son removidas. Este proceso termina con el traslado del caldo hacia el recipiente de centrifugación. Un tipo especial de recipiente de centrifugación es la marmita de centrifugación, en este caso el caldo permanece en la marmita, la misma que actúa como centrífuga (Kunze, 1995).

2.3.2.5. Centrifugación. Hardwick (1999), refiere que cuando la producción es de pequeña escala la operación de centrifugación es llevada a cabo en la marmita de ebullición, el objetivo principal es remover el material coagulado formado durante la ebullición del caldo, denominado rompimiento en caliente. El caldo caliente debe agitarse o removerse en un recipiente cilíndrico para ocasionar el efecto remolino. Esta acción va a concentrar la masa insoluble en el fondo y en el centro del tanque, donde va a permanecer siempre y cuando el caldo sea removido cuidadosamente. Cuando esto se realiza en una marmita, la agitación con una paleta será suficiente para lograr este efecto.

Kunze (1995), refiere que se debe tener cuidado en la velocidad en que el caldo es bombeado al recipiente de centrifugación para que el cizallamiento no afecte la precipitación. La velocidad del flujo interno del caldo no debe exceder los 5 m/s, usualmente velocidades menores son suficientes para provocar la rotación del caldo y producir el efecto descado, además indica que el periodo de descanso después de la centrifugación es de 20 a 40 minutos, nunca debe ser menor a veinte minutos.

2.3.2.6. Enfriado del caldo. Hardwick (1999) señala que el caldo entra al intercambiador de calor a 96– 99°C con un flujo turbulento; debido a que la levadura vive y fermenta a bajas temperaturas, el caldo caliente debe ser enfriado lo más pronto posible a 5 o 6°C, o lo que es más común de 7 a 10°C, durante este proceso el caldo pierde claridad tornándose turbio debido a la formación de un precipitado en frío el cual consiste en componentes de proteína y polifenoles que pierden solubilidad.

Una rápida fermentación y maduración requiere una óptima remoción de este precipitado en el enfriamiento. Para una rápida fermentación la levadura debe ser suplida con la cantidad óptima de oxígeno (Kunze, 1995).

Este autor también indica que varios métodos han sido usados para remover el precipitado en frío, ya que resulta un sabor incompleto en la cerveza. Una cantidad residual de 40 a 60 mg de precipitado frío por litro de caldo es lo mejor, incluso valores de 150 mg por litro son a veces normales, la mayoría de cervecerías no remueve el precipitado en frío.

Si la fermentación se lleva entre 7 y 10°C, tendrá una duración aproximada de 20 días y si se lleva a cabo a 5°C tendrá una duración aproximada de 30 días, así mismo temperaturas bajas de fermentación favorece la formación de alcoholes de cadena corta principalmente etanol⁶.

Para cervezas Lager es aceptable una fermentación a 15°C, lo cual aceleraría el tiempo de fermentación⁷.

⁶ Palma, R. 2002. Puntos importantes para diseño de proyecto especial. Cervecería Hondureña, (comunicación personal).

⁷ Barros, E. 2002. Fermentación de cervezas Lager. Zamorano, (comunicación personal).

2.3.3 Fermentación del caldo

Según Saldívar (1996), la transformación de mosto aromatizado a cerveza es efectuado mediante la fermentación. La operación se realiza en tanques especiales con equipos de refrigeración adecuados, el equipo tradicionalmente utilizado para efectuar la operación de fermentación consiste en un recipiente de acero inoxidable de 3 a 5 m de altura con base circular o cuadrada que tiene la capacidad de sellarse herméticamente. En general, tiene una capacidad de 150 a 500 hl. El mosto se inocula con 1.5 a 2.5 g de levadura comprimida por litro. Durante el proceso de fermentación primaria, la levadura se multiplica por gemación por un factor de cuatro a cinco veces. Las propiedades sensoriales y el carácter de la cerveza dependen en gran parte del tipo de levadura y de la manera en que se conduce la fermentación. Esta es una de las operaciones más críticas en la fabricación de cerveza.

Este mismo autor, señala que el proceso de fermentación se realiza en dos etapas: fermentación primaria que se efectúa en tanques cerrados a temperatura de 7 a 15°C durante aproximadamente de 8 a 10 días si se utiliza levadura de fondo o de 3 a 5 días si se utilizan perfiles de temperatura mayor, como es el caso de la levadura de superficie.

La segunda etapa, también llamada tiempo de guarda, se lleva a cabo a una temperatura de 0°C en tanque cerrado durante 4 a 6 semanas adicionales. La concentración de oxígeno es de 2 ppm y aquí es donde la cerveza adquiere su bouquet y aroma, principalmente debido a complejos cambios químicos como son la generación de diacetilo, dimetilsulfuro y sulfuro de hidrógeno.

Durante ambas etapas de fermentación, las células de la levadura transforman a la maltosa y maltotriosa en unidades de glucosa, las cuales a su vez son transformadas en bióxido de carbono, etanol, otros metabolitos como ácidos orgánicos, compuestos volátiles y energía. Aproximadamente, una tercera parte de las moléculas de carbón de los azúcares fermentables pasa a formar el bióxido de carbono.

Kunze (1995) menciona que la densidad aproximada del mosto es 1.040 y del producto terminado de 1.008 a 1.010 g/cm³. La generación de ácidos orgánicos propicia a que se disminuya el pH de la cerveza hasta aproximadamente 4.2.

El mismo autor indica que al terminar la etapa de fermentación, la cerveza no está lista para consumo, requiere pasar por las etapas de: postfermentación, carbonatación, clarificación y pasteurización para tener las características comerciales deseadas; sin embargo no todas las cervezas pasan por estos procesos finales.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN

El proyecto se llevó a cabo en Zamorano, que está ubicado a 30 km al sureste de Tegucigalpa, Honduras, en el departamento de Francisco Morazán a una altura de 800 metros sobre el nivel del mar, el proyecto se llevó a cabo en las siguientes secciones:

- a) Centro de cómputo académico, en donde se llevó a cabo el diseño de la línea.
- b) Taller de metal mecánica, en donde se realizó la construcción y ensamble del equipo.
- c) Planta de procesamiento de granos, en donde se realizaron las pruebas de desempeño de la línea de proceso.

3.2 EQUIPOS UTENSILIOS Y SUMINISTROS.

3.2.1 Diseño y construcción de la línea

Entre los equipos utilizados para el diseño de la línea encontramos básicamente un ordenador, y en la construcción de la línea, encontramos los siguientes, los cuales se encuentran disponibles en el taller de metalmecánica de Zamorano:

- Pulidora Black & Decker ®, 6000 RPM, modelo 4052
- Pulidora Dewalt ®, 750 RPM, modelo 847
- Llaves de corona #10 y 11
- Taladro percutor , Black & Decker®, 500 W, 2800 RPM
- Rectificador, Lincoln Electric ®
- Taladro de banco, 3400 RPM
- Compresor, Craftman ®, 150 psig, 5 HP, 60 gal.
- Pistola de pintura, SAGOLA ®, modelo 472
- Esmeril de banco
- Equipo de seguridad (gafas protectoras, mascarillas y guantes)

Los suministros utilizados para la construcción de la línea los podemos encontrar en el anexo 16, incluyendo costos y cantidades.

3.2.2 Pruebas de desempeño

Entre los equipos utilizados para las pruebas de desempeño encontramos los siguientes, los cuales se encuentran disponibles en la planta de procesamiento de granos y derivados de Zamorano:

- Baldes plásticos de 20 l
- Balanza de torsión, The Torsión Balance Co., Modelo DLM2
- Balanza EPELSA modelo PPL
- Potenciómetro, HI 270, Checker®, Hanna Instruments.
- Refractómetro portátil, 0 - 32 ° Brix, Fisher Scientific®
- Hidrómetro portátil. 1.00-1.22, Fisher Scientific®
- Dos Probetas, 1 l, Fisher
- Embudo pequeño de vidrio, Fisher®
- Pipeta plástica, Kimble, 1 ml

3.2.3 Programas de aplicación (software)

- Microsoft Word® (Office 2000).
- Microsoft Excel® (Office 2000).
- SAS® 6.12 ("Statistical Analysis System").

3.3 METODOLOGÍA

El trabajo comprendió el desarrollo de tres procesos principales:

3.3.1 Investigación de literatura

Se revisó literatura sobre procesamiento y elaboración de cerveza a nivel industrial, así como evaluaron diseños de microcervecías en literatura especializada e internet, se realizaron cálculos a fin de evaluar la factibilidad técnica, evaluando a su vez disponibilidad de materiales y presupuesto. Se realizaron bocetos del equipo, y se evaluaron con los asesores, se cotizó los materiales necesarios y se ordenó su adquisición.

3.3.2 Diseño y manufactura de la línea de proceso

Las operaciones unitarias que componen la línea de proceso empiezan en la molienda del grano y culminan con el embotellado del producto.

Se tomó como parámetro de diseño las siguientes condiciones:

- 1) Deberá ser un diseño didáctico, sencillo, que pueda mostrar los procesos más relevantes
- 2) posteriores a la elaboración de la malta.
- 3) El tiempo que tardará obtenerse una tanda de producto completa, deberá adecuarse a la duración de un módulo de tercer año.
- 4) Deberá ser seguro de operar.
- 5) Deberá ser de construcción económica, que se ajuste al presupuesto de la planta de procesamiento de granos.
- 6) El producto final a obtenerse deberá cumplir con las características de lo que se denomina cerveza aunque no se destine al consumo humano.

El equipo fue íntegramente manufacturado en Zamorano por el autor del proyecto, con excepción de los tres tanques de acero inoxidable, con la ayuda de un empleado del taller de metal mecánica de Zamorano.

3.3.3 Pruebas de desempeño y caracterización

La evaluación exploratoria de desempeño sirve para obtener parámetros de desempeño de algunos componentes de la línea y obtener una mayor cantidad de criterios técnicos para su diseño.

Se realizó una primera prueba en las instalaciones de la planta de procesamiento de granos y derivados de Zamorano, evaluándose el funcionamiento de los controles de temperatura, equipos de medición, tiempos y parámetros necesarios para diseñar el intercambiador de calor de tubo y coraza, se utilizó agua en cada una de las pruebas.

Se realizó una segunda prueba utilizando malta y agua, 2.8 y 14 Kg, respectivamente, en donde se evaluó la capacidad del fluido (malta y agua) de desplazarse por la línea, con esto se determinó la necesidad de usar un plenum que aumente el área de filtración.

Para la determinación del balance de masa tanto de agua como de sólidos se realizaron 5 tandas de producto, en las cuales se evaluó volumen, masa, gravedad específica de cada una de las entradas y salidas del tanque 1 y 2, el intercambiador de calor se consideró un balance perfecto (iguales entradas y salidas) ya que solo tiene un producto de entrada y uno de salida, sólo hay un intercambio de energía. Se determinó la masa de cada uno de los componentes.

Para la determinación de las características más importantes de la cerveza se utilizó un potenciómetro manual para determinar el pH, un hidrómetro para determinar gravedad específica y un alcoholímetro para determinar el porcentaje de alcohol por volumen.

Con la finalidad de reforzar el componente educativo, se elaboró un manual de operaciones, el cual fue validado por el personal técnico de la planta, se entrenó a dicho personal en el uso de la línea, realizándose conjuntamente una de las pruebas de desempeño, evacuándose las dudas surgidas respecto a mapejo y mantenimiento.

Posteriormente se realizó una charla con 5 estudiantes de agroindustria de tercer año del módulo de granos, los cuales elaboraron una tanda de cerveza de aproximadamente 7 litros, bajo la supervisión del personal técnico de la planta y el realizador del proyecto. Todo esto comprobó además de la funcionalidad de la línea, que es posible trabajar en los parámetros de tiempo establecidos en el diseño.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA LÍNEA DE PROCESO

Se diseñó la siguiente línea de proceso (Figura 2) en la cual se detallan las operaciones unitarias. El detalle de los componentes de la línea se muestran en los anexos: 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13. Respecto a la construcción (Anexo 14).

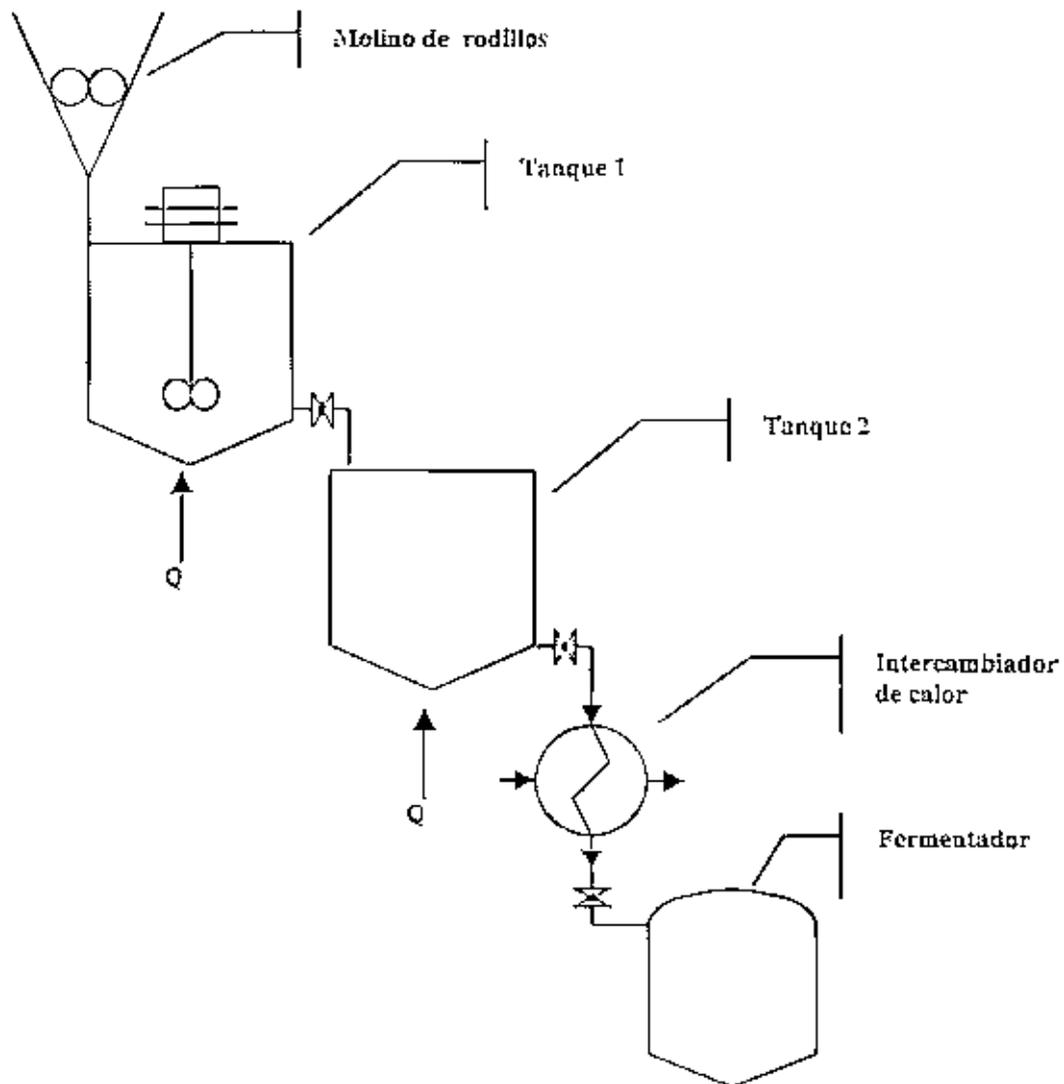


Figura 3. Línea de proceso de cerveza Lager tipo "Zamorano"

Para determinar el área de intercambio de calor se realizaron los siguientes cálculos. Utilizando la ecuación de Continuidad de Bernoulli:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho u_1^2 + \rho g z_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho u_2^2 + \rho g z_2 = K$$

Asumiendo que: $P_1=P_2= 1\text{atm}$, $\rho_1=\rho_2$, y $u_1 \approx 0$, no existe fricción y el sistema está en estado estable.

Altura del líquido = 0.24 m

Diámetro de tanque = 0.3 m

K = Constante.

Entonces:

$$U = \sqrt{2g(z_2 - z_1)}$$

Reemplazando:

$$U = \sqrt{2 \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (0.24\text{m})} = 2.1699 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Idealmente la descarga sería:

$$\frac{\pi \times (0.01)^2 \text{m}^2}{4} \times 2.1699 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 6.82 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Volumen efectivo del Tanque es:

$$\frac{\pi \times (0.3)^2 \text{m}^2}{4} \times 0.24\text{m} = 0.0169\text{m}^3$$

Tiempo ideal para vaciar el tanque:

$$= \frac{0.0169\text{m}^3}{6.82 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 24.78\text{s}$$

El vaciado del tanque en 24.78 s es posible solo en condiciones de estado estable, por lo cual se realizó un experimento con cuatro repeticiones tomando el flujo másico en intervalos de un minuto (Anexo 6). Cada punto de la figura 4 muestra el caudal promedio por minuto.

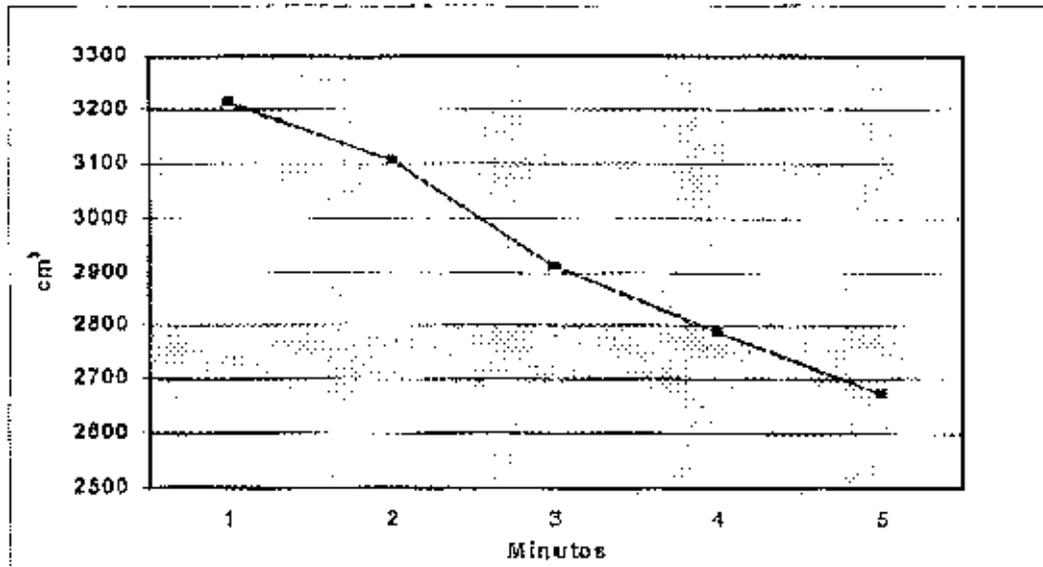


Figura 4. Flujo másico de tanque 2, en función del tiempo.

Para fines de diseño se utilizó el caudal del primer minuto. Este difirió considerablemente del cálculo teórico ya que los factores como codos o fricción afectaron significativamente el flujo másico.

Si: Flujo másico = Área x Velocidad

$$3,212.5 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} = 5.3 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 7.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \times V \Rightarrow V = 0.679 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Calculamos el Número de Reynolds

$$Nre = \frac{\rho u D}{\mu}$$

Donde:

ρ : Según Manning (1993), es 1.061 kg/litro

μ : Según Kunze (1999), es el caldo antes de enfriamiento y tiene una viscosidad de 1.76 cp estandarizado al 12%

D : 1cm, es decir 0.01 m

u : 0.679 m/s

$$Nre = \frac{1061 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0.679 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.01 \text{ m}}{1.76 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m s}}} = 4,093.28$$

Lo cual nos indica que se trata de un fluido turbulento, comprobando lo mencionado por Hardwick (1994).

Si es turbulento, entonces la velocidad máxima es:

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{V_{prom}}{0.82}$$

De lo anterior se deduce que la velocidad máxima del flujo es:

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{0.679}{0.82} = 0.82 \frac{m}{s}$$

Experimentalmente se determinó el coeficiente global de transferencia de calor, haciendo pasar agua a un volumen y temperatura conocida por una tubería de cobre de seis metros, sumergida en agua a 0°C.

Obteniéndose los siguientes datos:

Temperatura inicial del agua: 24°C

Temperatura final del agua: 12°C

Largo de tubería: 6 m

Diámetro interno: 1 cm

Diámetro externo: 1.2 cm

A= Área de transferencia de calor: 0.20 m²

Temperatura inicial del medio: 0°C

Temperatura final del medio: 0°C

c_p= utilizando la fórmula:

0.837+3.349X_w (Siebel, 1892 citado por Singh, 2001) = 4019 J/kg (X_w = % de agua = 95%)

Basándonos en la siguiente ecuación:

$$q = UA(\Delta T)_{lm} = mcp\Delta T$$

$$q = mcp\Delta T = 0.053 \frac{kg}{s} \times 4019 \frac{J}{kg} \times (24^{\circ}C - 12^{\circ}C) = 2556.084 \frac{J}{s}$$

$$\text{Reemplazando: } U = \frac{mcp\Delta T}{A(\Delta T)_{lm}} = \frac{2,556.084 \frac{J}{s}}{0.20_m \times (17.3^{\circ}C)} = 738.75W / m^2 \times ^{\circ}C$$

Y para reducir la temperatura de 100 a 10°C tenemos un $\Delta T_{lm} = 39.13^\circ\text{C}$

$$20,208.9 = (738.75\text{W} / \text{m}^2) A(39.13^\circ\text{C})$$

$$A = 0.70\text{m}^2$$

Por lo tanto, se necesitaría $0.7\text{m}^2/0.034\text{m}=20.5$ m de tubería de cobre.

Sin embargo, comercialmente sólo fue posible obtener 16 m de tubería de cobre con esas características.

- El peso de la estructura sin los tanques es de 31.36 kg.
- El peso del tanque 1 ensamblado, incluyendo el motor es de 7.36 kg.
- Peso de tanque 2 incluyendo cubierta es de 4.86 kg.
- Peso del tanque 3 (intercambiador de calor) incluyendo tubería de cobre es de 17.9 kg.

Lo cual indica que la manipulación de cualquiera de estos componentes resultaría apropiado para un estudiante.

4.4 BALANCE DE MASA

El balance de masa se basa en la ley de la conservación de la masa, la cual expresada en forma simple enuncia que la masa no puede crearse ni destruirse, por consiguiente, la masa total de todos los materiales que intervienen en el proceso debe ser igual a la de todos los materiales que salen del mismo, más la masa de los materiales que se acumulan o permanecen en el proceso.

$$\text{Entradas} = \text{Salidas} + \text{Acumulación}$$

En la mayoría de los casos no se presenta acumulación de materiales en el proceso, por lo que las Entradas son iguales a las Salidas. A este tipo de sistema se le llama proceso en estado estacionario.

$$\text{Entradas} = \text{Salidas}$$

Es importante ya que permite conocer la eficiencia de un proceso unitario, o de un sistema completo.

Se hicieron cinco tandas de producto, se aplicó el análisis univariado con la finalidad de conocer las medidas de tendencia central (media) y medidas de dispersión (error estándar, coeficientes de variación), realizándose gráficas con valores promedio (Anexos 4 y 5).

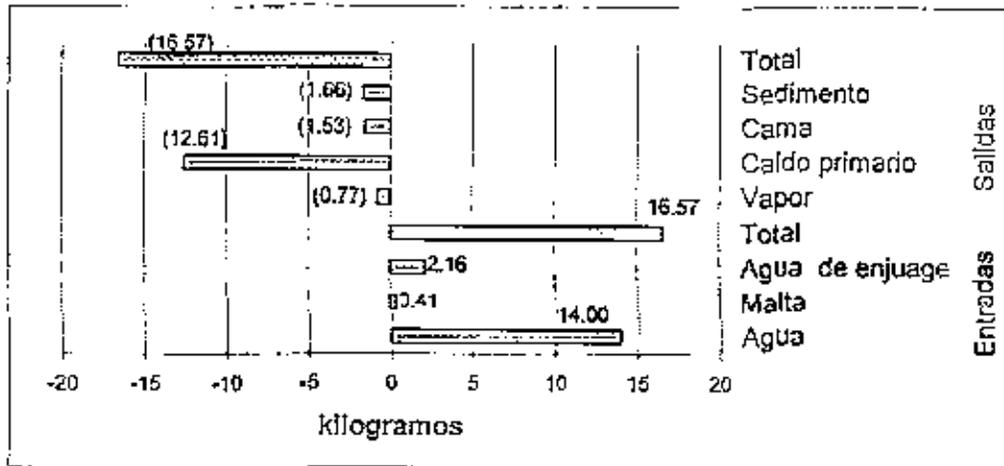


Figura 5. Balance de masa (Agua, tanque 1)

En promedio de las 5 pruebas, el paso del agua de tanque 1 a tanque 2, como caldo primario extraído del tanque 1, fue de 12.61 ± 0.01 Kg. (Figura 5). Adicionalmente, 1.53 ± 0.02 Kg de agua fue retenida en la cama formada por las partículas no solubles, 1.66 ± 0.01 Kg como sedimento y 0.73 ± 0.01 Kg en la forma de vapor.

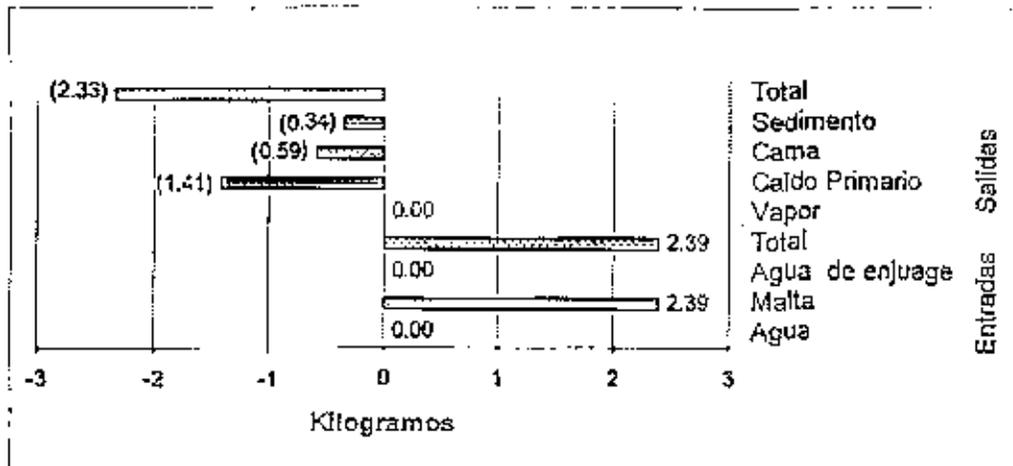


Figura 6. Balance de masa (Sólidos, tanque 1)

En promedio de las 5 pruebas, el paso de sólidos de tanque 1 a tanque 2, como caldo primario extraído del tanque 1, fue de 1.41 Kg. Además, 0.59 Kg de sólidos son retenidos formando la cama por las partículas no solubles y 0.34 Kg como sedimento. Nótese que existe un diferencial de 60 g en el balance que son atribuidos a errores en medición debidos a forma de recipientes y expansión del volumen de agua.

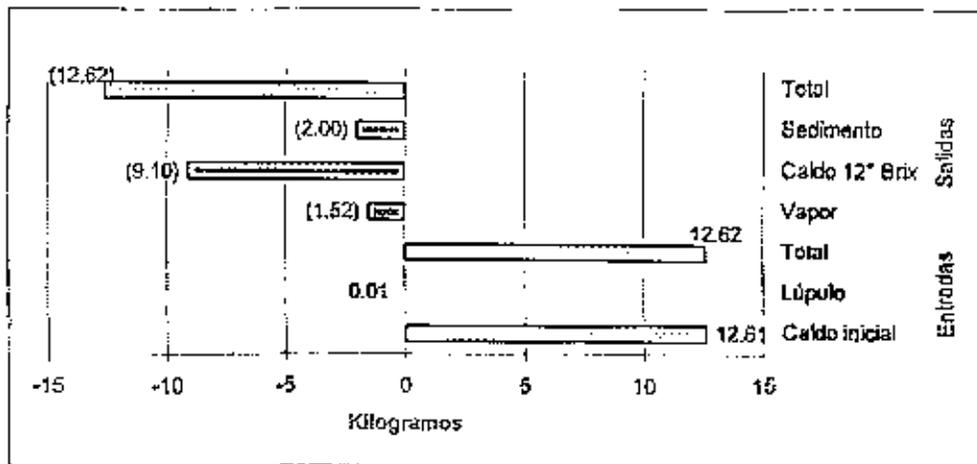


Figura 7. Balance de masa (Agua, tanque 2)

En promedio de las 5 pruebas, el paso del agua de tanque 2 al intercambiador de calor, como caldo estandarizado a 12° Brix fue de 9.10 ± 0.09 Kg, de 2.00 ± 0.03 Kg como sedimento y 1.52 ± 0.08 Kg en la forma de vapor.

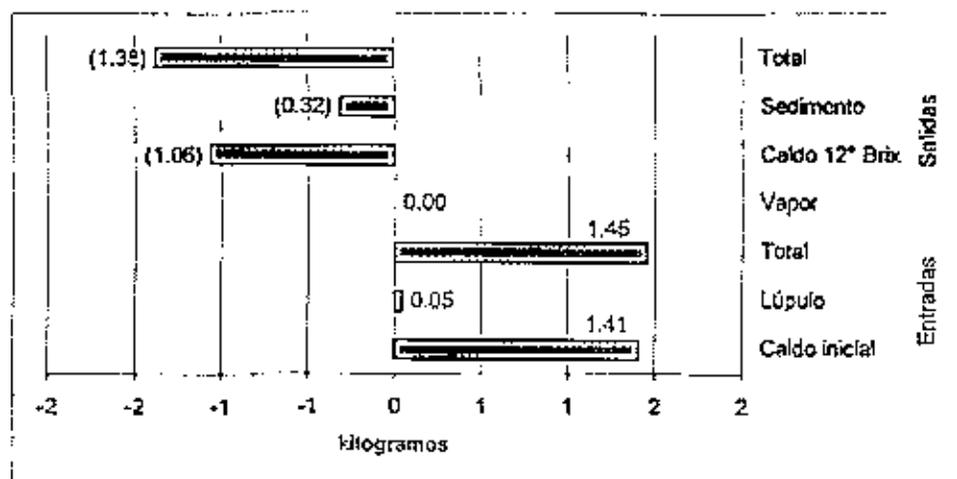


Figura 8. Balance de masa (Sólidos, tanque 2)

En promedio de las 5 pruebas, el paso de sólidos de tanque 2 al intercambiador de calor, como caldo estandarizado a 12° Brix fue de 1.06 ± 0.01 Kg y 0.32 ± 0.01 Kg como sedimento. Nótese que existe un diferencial de 30 g en el balance que son atribuidos a errores en medición debidos a forma de recipientes y expansión del volumen de agua.

4.5 TIEMPO DE PROCESO

Cuadro 2. Tiempos de maceración en tanque 1.

	Tiempo en llegar a 62°C (min)	Tiempo en llegar a 72°C (min)	Tiempo en llegar a 75°C (min)
Prueba 1	76	29	34
Prueba 2	70	21	33
Prueba 3	72	25	33
Prueba 4	72	26	36
Prueba 5	74	26	33
Promedio	72,8	25,4	33,8
Error estándar	1,02	1,29	0,58
Desviación estándar	2,28	2,88	1,30
Coef. de variación (%)	3,13	11,34	3,86

El tiempo que tardó el agua en incrementar su temperatura de 62°C a 72°C fue el que más variación presentó (CV=11,34%) (Cuadro 1) Por el contrario, el tiempo en que se tardó en llegar a 62°C es el que menos varió (CV=3,13%).

Cuadro 3. Tiempo de estandarización a 12°Brix en tanque 2.

Prueba	Tiempo de evaporación (min)
Prueba 1	67,00
Prueba 2	80,00
Prueba 3	75,00
Prueba 4	76,00
Prueba 5	70,00
Promedio	73,60
Error estándar	2,29
Desviación estándar	5,13
Coef. de variación (%)	6,97

El tiempo suficiente para estandarizar el caldo a 12°Brix fue de 73,60±5,13 minutos (Cuadro 3).

4.6 CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO

Cuadro 3. Caracterización de la cerveza obtenida.

Prueba	Gravedad específica inicial	Gravedad específica final	% de alcohol
1	1.04	1.01	4.5
2	1.04	1.01	4.5
3	1.05	1.01	4.5
4	1.04	1.01	4.5
5	1.04	1.01	4.5
Promedio	1.04	1.01	4.50
Error estándar	0.00	0.00	0.00
Desviación estándar	0.00	0.00	0.00
Coef. de variación (%)	0.48	0.04	0.00

El parámetro que más varió fue la gravedad específica inicial ($CV=0.48\%$), lográndose una cerveza con una gravedad específica normal 1.01g./cm^3 . El porcentaje de alcohol por volumen de 4.5% fue el mismo en todos los casos. Adicionalmente en todas las pruebas se obtuvo un pH de 4.42 ± 0.02 , parámetro ligeramente más elevado del promedio de pH (4.2).

5. CONCLUSIONES

La planta de procesamiento de granos de Zamorano, cuenta con una línea de producción de cerveza a escala demostrativa, la cual es capaz de producir en promedio por tanda 9.76 litros de cerveza Lager no filtrada, la cual fue diseñada y construida para ser usada con fines educativos.

El componente de Aprender Haciendo de la planta de procesamiento de granos se ve fortalecido con la inclusión de la línea de procesamiento de cerveza.

El coeficiente de variación de las características tanto de gravedad específica, grado alcohólico y pH, entre cada tanda de producto fue menor a 0.5%, por lo tanto es posible elaborar cerveza Lager tipo "Zamorano" siguiendo las instrucciones dadas en el manual.

El producto de la línea de proceso está dentro de los parámetros internacionales promedios en cuanto a gravedad específica de 1.01g/cm³ en post fermentación, con un % de alcohol promedio de 4.5% y pH 4.52.

El "Manual de Operación para Elaboración de Cerveza Lager Tipo Zamorano" fue elaborado y validado durante todo el desarrollo del proyecto, tanto con estudiantes como con el personal técnico de la planta de granos de zamorano.

6. RECOMENDACIONES

Consultar y seguir las instrucciones del "Manual de Operación para Elaboración de Cerveza Lager Tipo Zamorano" antes de empezar a operar la línea de proceso.

Dar charlas explicativas durante el tiempo en que se realizan procesos como maceración, estandarización y reposo, con la finalidad de aprovechar el tiempo de Aprender Haciendo.

Si se desea consumir la cerveza se deberá pasteurizar en botellas de 355 ml a una temperatura de 68°C por 20 minutos.

Realizar visitas a la Cervecería Hondureña, con la finalidad que el estudiante pueda comparar ambas líneas y a la vez profundizar sus conocimientos sobre esta industria.

Si se va a consumir se sugiere realizar un análisis de los tipos de alcoholes presentes en el producto.

7. BIBLIOGRAFÍA

Belitz, H; Grosch, W. 1988. Química de los alimentos. 2 ed. Zaragoza, España Editorial Acribia. 812p.

Borstrom, G. 1968. Principals of Food Science. Vol. 2. Food Microbiology and Biochemistry. New Cork, USA. Macmillan.

Byong, H. 1996. Fundamentos de biotecnología de los alimentos. VCH Publisher, inc. 475 p.

Chaven, J; Kadam, S. 1989. Nutritional improvement of cereals by fermentation. CRC Critical Reviews in Food Science And Technology, 28(5):349.

Desrosier, N.W. 1989. Elementos de tecnología de alimentos. 6 ed. Méx. DF. Editorial CECSA. 783p.

Grijalbo, 1988. Diccionario del español actual. 2da. Ed. Editorial Grijalbo. 1071p.

Goldammer, T. 2000 The brewer's Hand book. (en línea) consultado el 15 de junio de 2002 disponible en: <http://www.beer-brewing.com/index.htm>

Haard, N; Odunfa, S; Lee, C; Quintero, R; Lorence, A; Wacher, C. 1999. FERMENTED CEREALS, A global Perspective. Roma, Italia, FAO, 115p.

Hardwick, 1995. Handbook of brewing. New York, USA, Marcel Dekker, inc. 714 p.

Hermido, J. 2000. Fundamentos de ingeniería de procesos agroalimentarios. Madrid, España. Ed. Mundiprensa. 463p.

Kunze, W. 1999. Technology of brewing and malting 2 ed. Berlin, Alemania VLB Berlin 726p.

Real academia de ciencias exactas físicas y naturales, 2001. Diccionario esencial de las ciencias. Madrid, España, ed. Espasa. 1022p.

Rolle, R. 1998. La fermentación en pequeña escala, (en línea) consultado el 25 de Junio de 2002 disponible en: <http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/esp/revista/9812sp3.htm>

Rojas, C. ; Saldívar, S. 2001. La biotecnología como herramienta para la mejora de procesos y productos en la industria cervecera (en línea) consultado el 8 de marzo del 2002 disponible en:
<http://www.mty.itesm.mx/die/ddre/transferecia/Transferecia51/e11-51.html>

Saldívar, S. 1996. QUIMICA, ALMACENAMIENTO E INDUSTRIALIZACIÓN DE LOS CEREALES. Méx. DF. Editorial A.G.T. Editor S.A. 521p.

8. ANEXOS

Anexo 1. Incremento de temperatura promedio por minuto

	Incremento de temp. Promedio/minuto
Prueba 1 (°C/minuto)	0.57
Prueba 2 (°C/minuto)	0.55
Prueba 3 (°C/minuto)	0.59
Prueba 4 (°C/minuto)	0.54
Promedio	0.56
Error estándar	0.01
Desviación estándar	0.02
Coef. de variación (%)	3.94

Anexo 2. Descenso de temperatura de tanque 1 en 20 minutos

Prueba	Descenso de temp. (20 min.) de tanque 1
Prueba 1 (°C)	0.00
Prueba 2 (°C)	1.00
Prueba 3 (°C)	0.00
Prueba 4 (°C)	1.00
Promedio	0.50
Error estándar	0.29
Desviación estándar	0.58
Coef. de variación (%)	115.47

Anexo 3. Temperatura de ebullición en Zamorano

Prueba	Temp. de ebullición
Prueba 1	95.00
Prueba 2	94.00
Prueba 3	94.00
Prueba 4	95.00
Promedio	94.50
Error estándar	0.29
Desviación estándar	0.58
Coef. de variación (%)	0.61

Anexo 4. Detalle de balance de agua y sólidos de tanque 1.

Balance de masa (Tanque 1)							
	Entradas			Salidas			
	Agua	Malta	Agua de enjuage	Vapor	Caldo	Cama	Sedimento
Masa de sólidos (1)	0.00	2.39	0.00	0.00	1.41	0.59	0.34
Masa de sólidos (2)	0.00	2.39	0.00	0.00	1.40	0.58	0.33
Masa de sólidos (3)	0.00	2.39	0.00	0.00	1.41	0.59	0.34
Masa de sólidos (4)	0.00	2.39	0.00	0.00	1.40	0.59	0.34
Masa de sólidos (5)	0.00	2.39	0.00	0.00	1.41	0.59	0.33
Promedio	0.00	2.39	0.00	0.00	1.41	0.59	0.34
Error estándar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Desviación estándar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Coef. de variación (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.63	0.56

Balanza de masa (Tanque 1)							
	Entradas			Salidas			
	Agua	Malta	Agua de enjuage	Vapor	Caldo	Cama	Sedimento
Masa de agua (1)	14.00	0.41	2.16	0.72	12.63	1.54	1.67
Masa de agua (2)	14.00	0.41	2.17	0.74	12.64	1.50	1.67
Masa de agua (3)	14.00	0.41	2.17	0.74	12.60	1.54	1.66
Masa de agua (4)	14.00	0.41	2.16	0.73	12.55	1.54	1.66
Masa de agua (5)	14.00	0.41	2.16	0.73	12.63	1.54	1.65
Promedio	14.00	0.41	2.16	0.73	12.61	1.53	1.66
Error estándar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00
Desviación estándar	0.00	0.01	0.00	0.01	0.03	0.02	0.01
Coef. de variación (%)	0.00	1.35	0.00	1.21	0.27	1.23	0.51

Anexo 5. Detalle de balance de agua y sólidos de tanque 2.

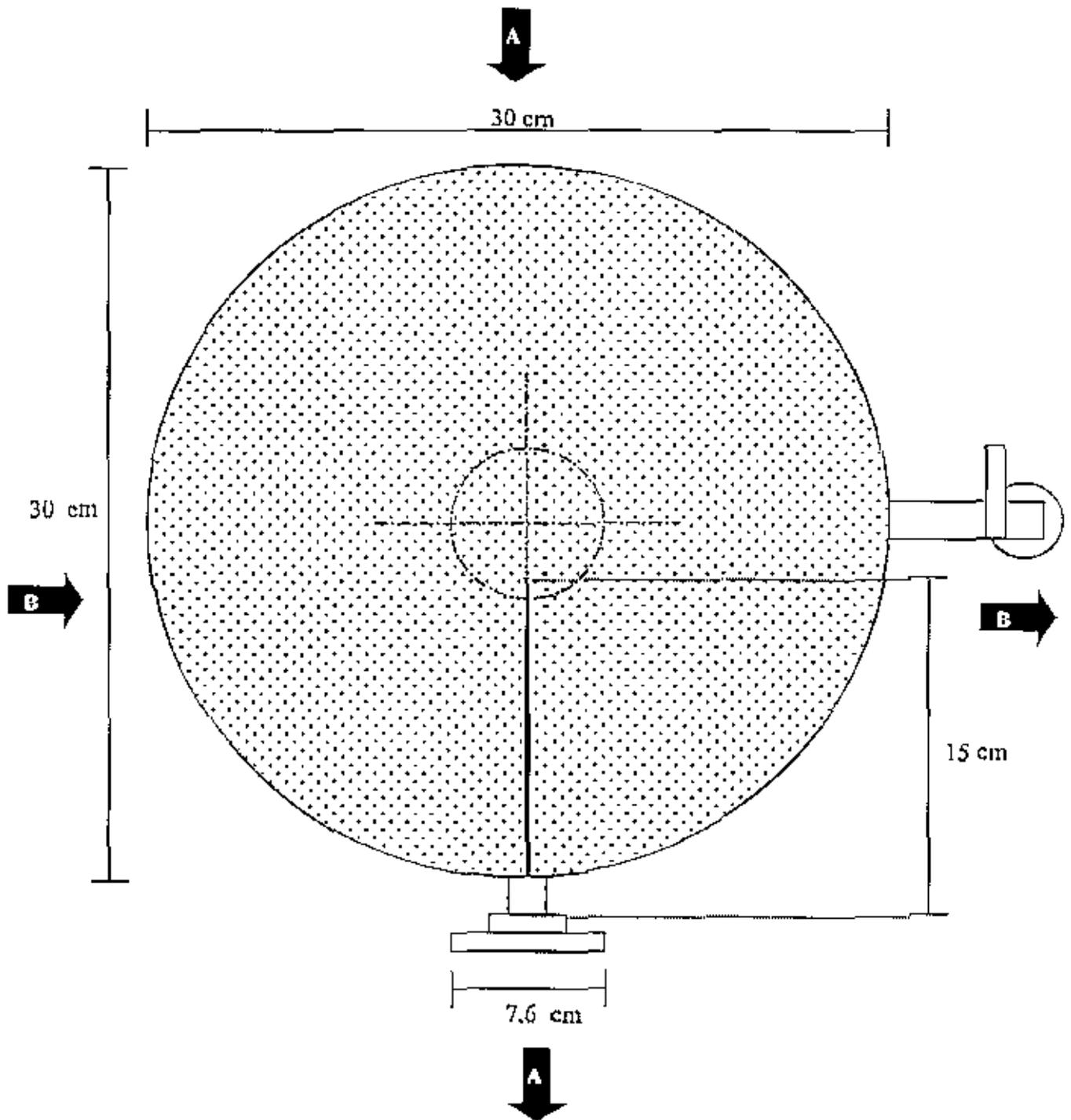
Balanza de masa (Tanque 2)					
	Entradas		Vapor	Salidas	
	Caldo primario	Lúpulo		Caldo 12°	Sedimento
Masa de sólidos (1)	1.41	0.05	0.00	1.06	0.32
Masa de sólidos (2)	1.40	0.05	0.00	1.06	0.31
Masa de sólidos (3)	1.41	0.05	0.00	1.05	0.32
Masa de sólidos (4)	1.40	0.05	0.00	1.07	0.30
Masa de sólidos (5)	1.41	0.05	0.00	1.05	0.32
Promedio	1.41	0.05	0.00	1.06	0.32
Error estándar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Desviación estándar	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Coefficiente de variación	0.30	0.00	0.00	0.64	2.38

Balanza de masa (Tanque 2)					
	Entradas		Vapor	Salidas	
	Caldo primario	Lúpulo		Caldo 12°	Sedimento
Masa de Agua (1)	12.63	0.01	1.42	9.22	2.02
Masa de agua (2)	12.64	0.01	1.64	8.99	2.02
Masa de agua (3)	12.60	0.01	1.50	9.15	1.96
Masa de agua (4)	12.55	0.01	1.53	9.04	1.99
Masa de agua (5)	12.63	0.01	1.51	9.11	2.01
Promedio	12.61	0.01	1.52	9.10	2.00
Error estándar	0.02	0.00	0.04	0.04	0.01
Desviación estándar	0.03	0.00	0.08	0.09	0.03
Coefficiente de variación	0.27	0.00	5.21	1.00	1.29

Anexo 6. Flujo másico de agua cada 60 segundos

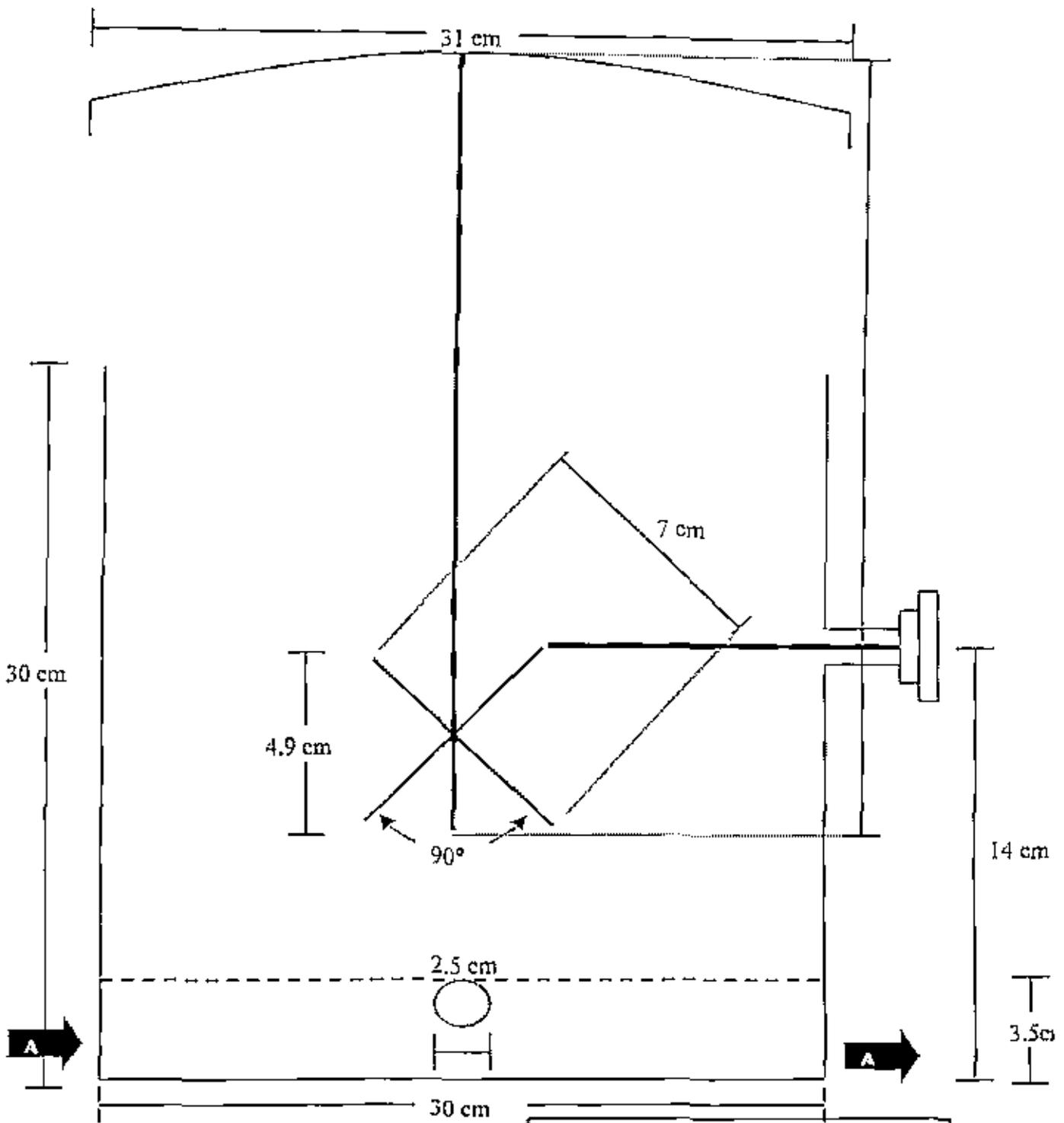
Prueba	60 segundos	120 segundos	180 segundos	240 segundos	300 segundos	330 Segundos
Prueba 1 (ml)	3300	3250	2900	2880	2700	1250
Prueba 2 (ml)	3220	3080	2900	2780	2700	1260
Prueba 3 (ml)	3230	3060	2960	2780	2690	1270
Prueba 4 (ml)	3100	3050	2880	2730	2600	1180
Promedio	3212.50	3105.00	2910.00	2787.50	2672.50	1240.00
Error estándar	41.51	48.39	17.32	32.50	24.28	20.41
Desviación estándar	83.02	96.78	34.64	65.00	48.56	40.82
Coef. de variación (%)	2.58	3.12	1.19	2.33	1.82	3.29

Anexo 7. vista de planta de tanque 1 ensamblado, sin cubierta ni agitador.



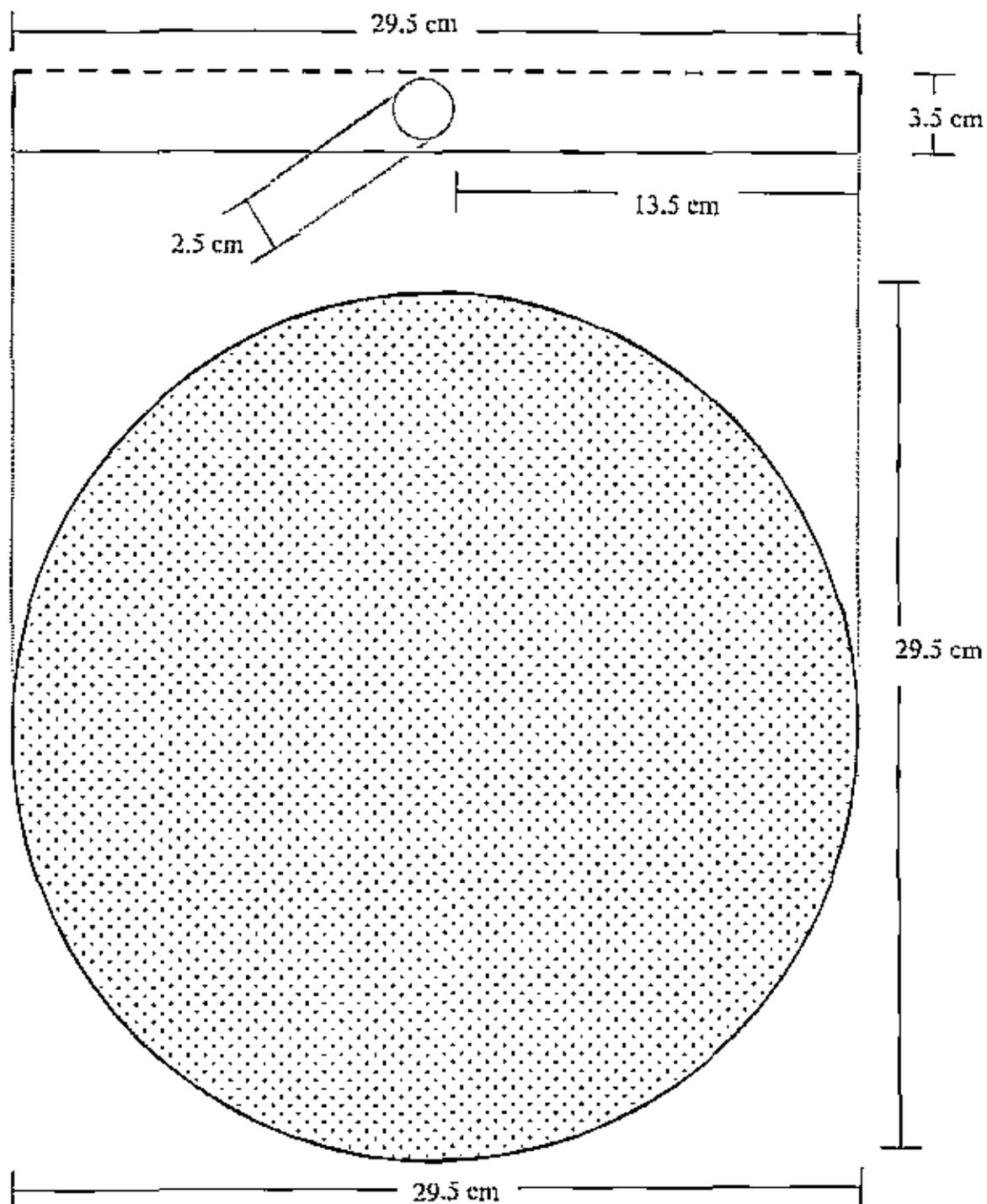
Tanque 1 (PLANTA)		
—	acero inoxidable (304)	1/16.
—	Espiga de termómetro	15 cm
Diseño:	Wladir Valderrama	

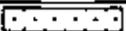
Anexo 8. Corte de tanque 1 ensamblado, sin motor.



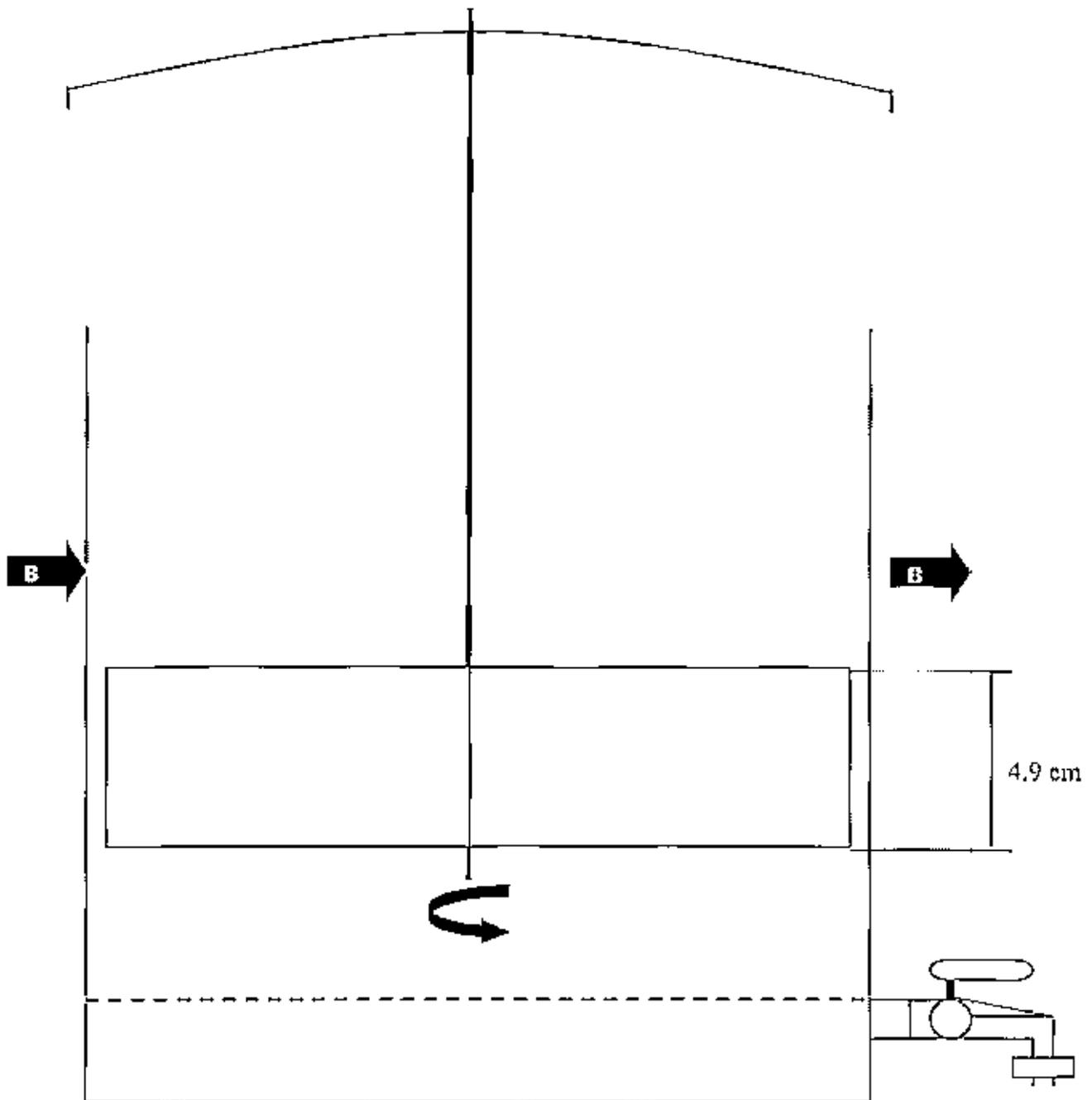
Tanque 1 (CORTE)		
	acero inoxidable (304)	1/16.
	acero inoxidable (304)	1/8.
	Espliga de termómetro	15 cm
Diseño:	Wladir Valderrama	

Anexo 9. corte y vista de planta del plenum (tanque 1)



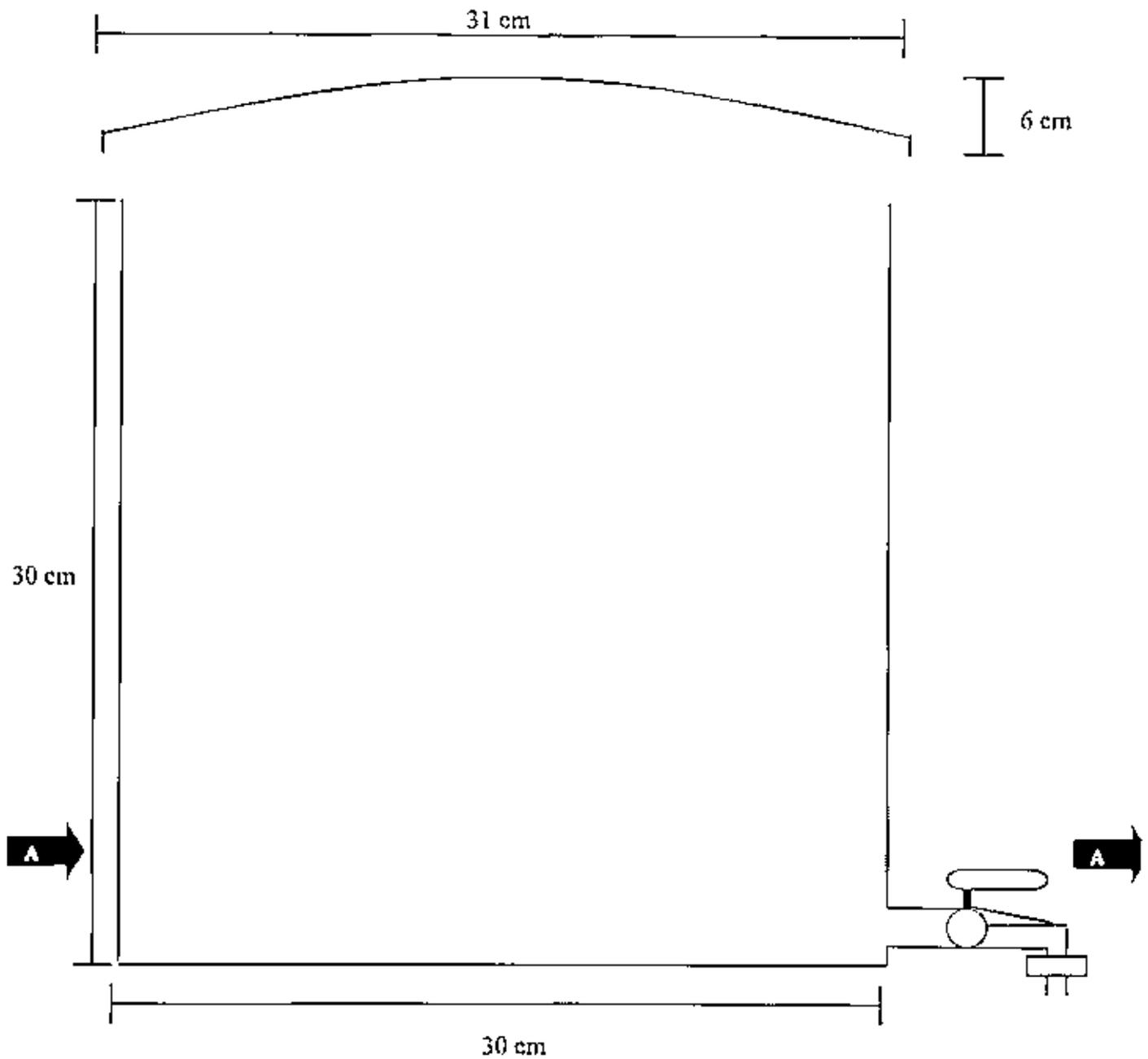
Tanque 1 (PLANTA)		
	acero inoxidable (304)	1/16"
	Criba circular	6/64"
Diseño:	Wladir Valderrama	

Anexo 10. Corte de tanque 1 con detalle del agitador.



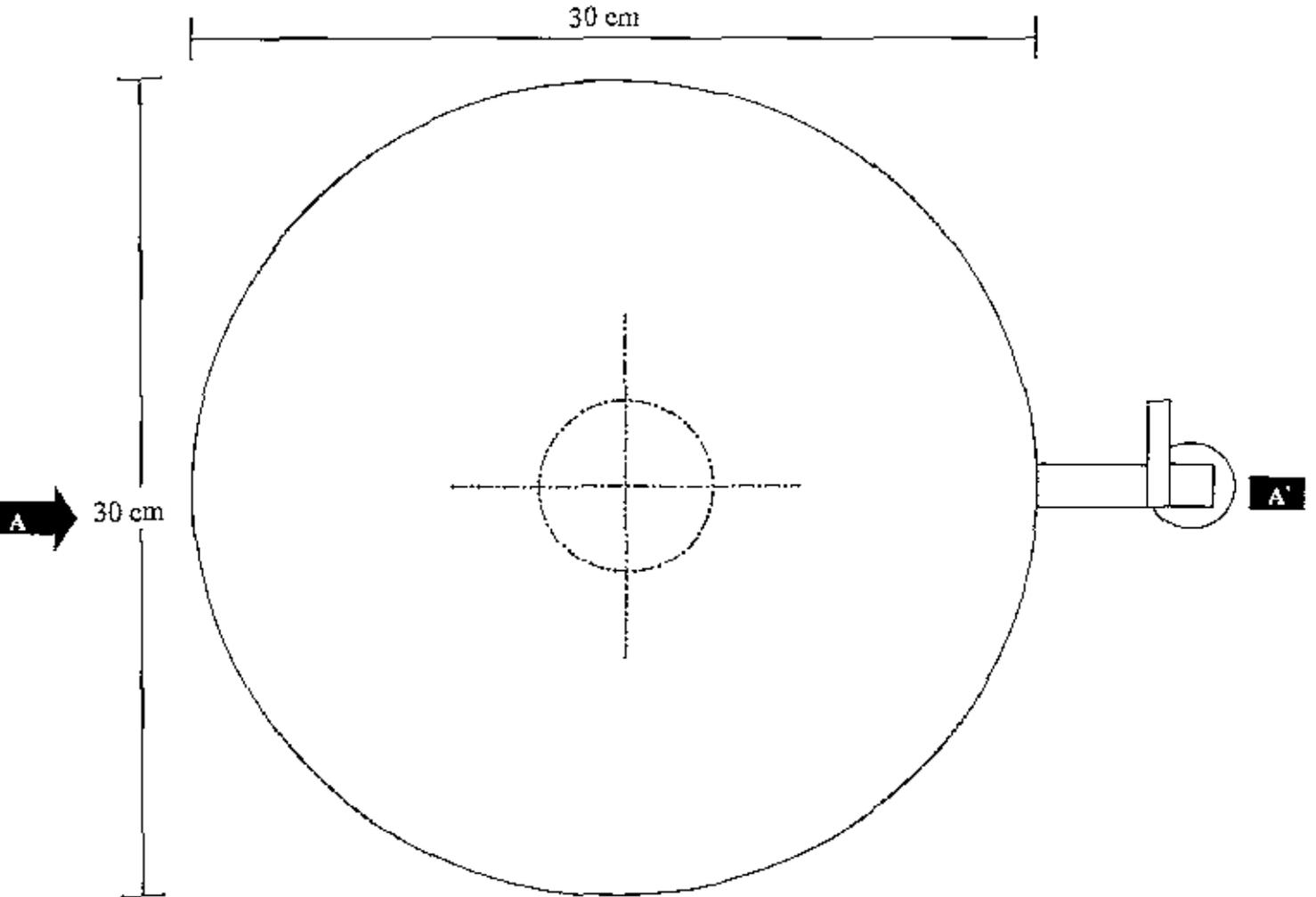
Tanque 1 (CORTE)		
	acero inoxidable (304)	1/16.
	Acero inoxidable (304)	1/8
	Eje acero inox. (304)	32 cm
Diseño:	Wladir Valderrama	

Anexo 11. Detalle del tanque 2 con cubierta con llave ensamblada.



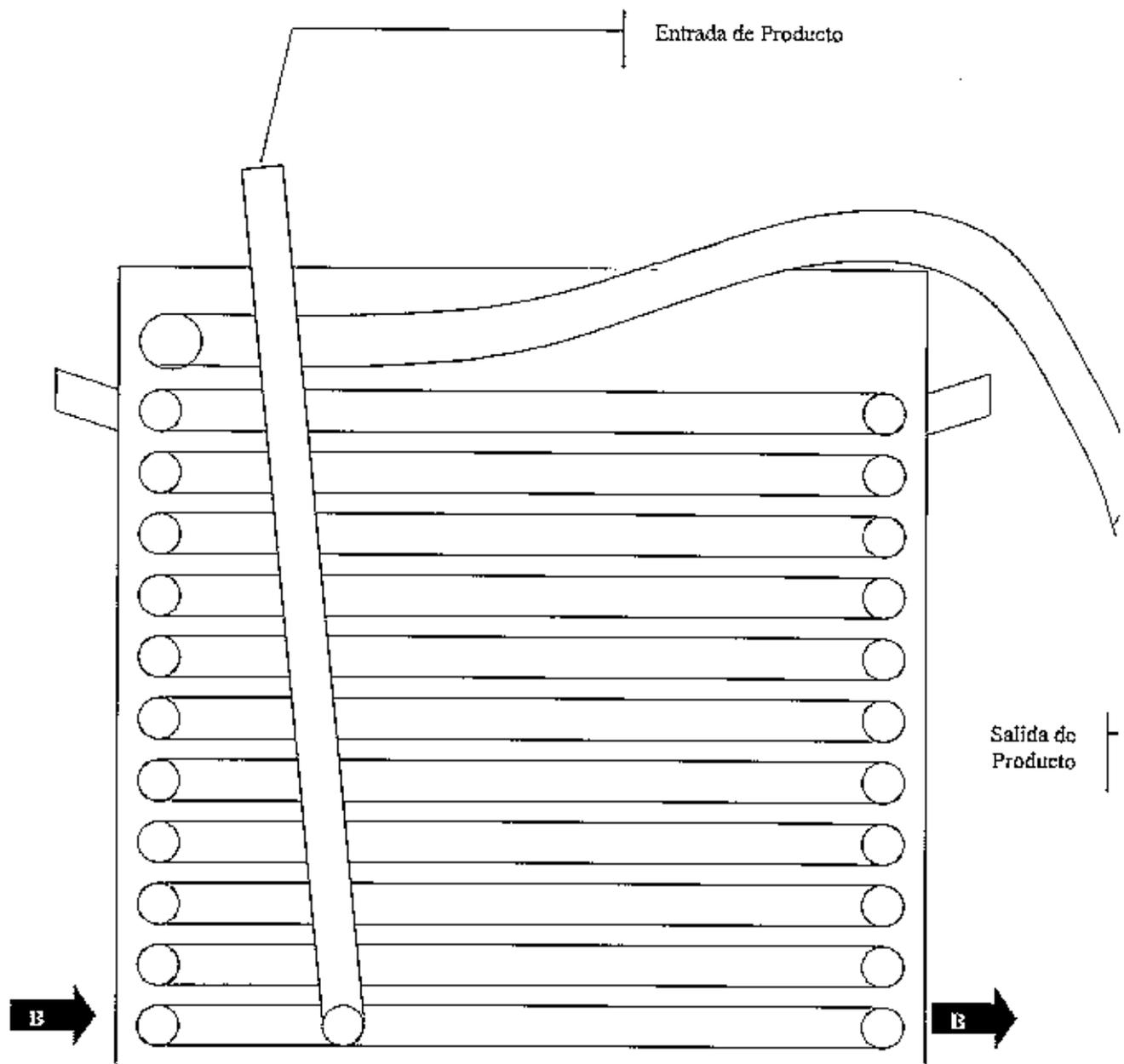
Tanque 2 (CORTE)		
	acero inoxidable (304)	1/16.
	acero inoxidable (304)	1/8.
	Espiga de termómetro	15 cm
Diseño:	Wladir Valderrama	

Anexo 12. vista de planta de tanque 2 sin cubierta, con llave ensamblada



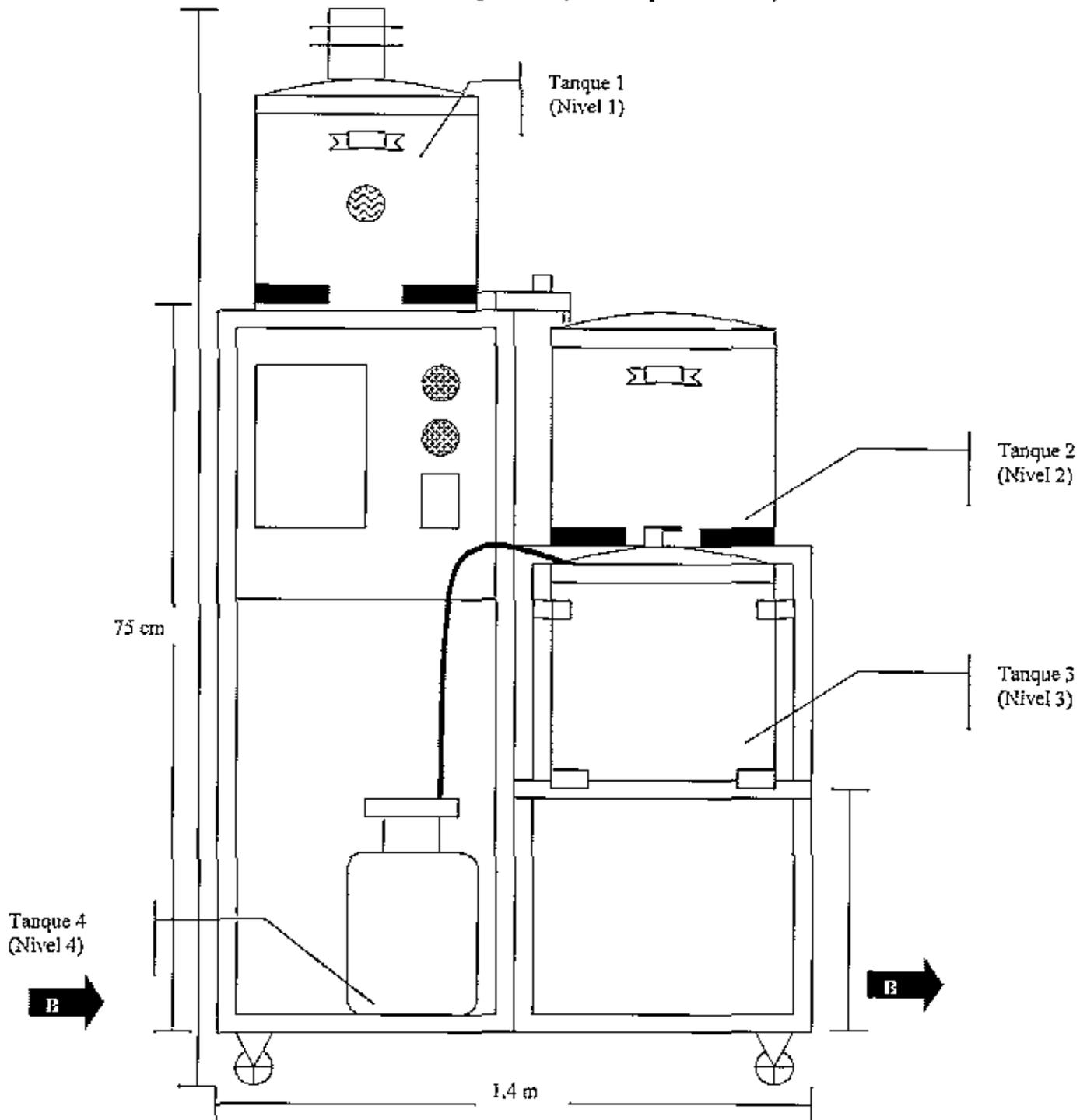
Tanque 2 (PLANTA)		
	acero inoxidable (304)	1/16.
Diseño:	Wladir Valderrama	

Anexo 13. Corte de tanque 3, incluyendo tubería de cobre.



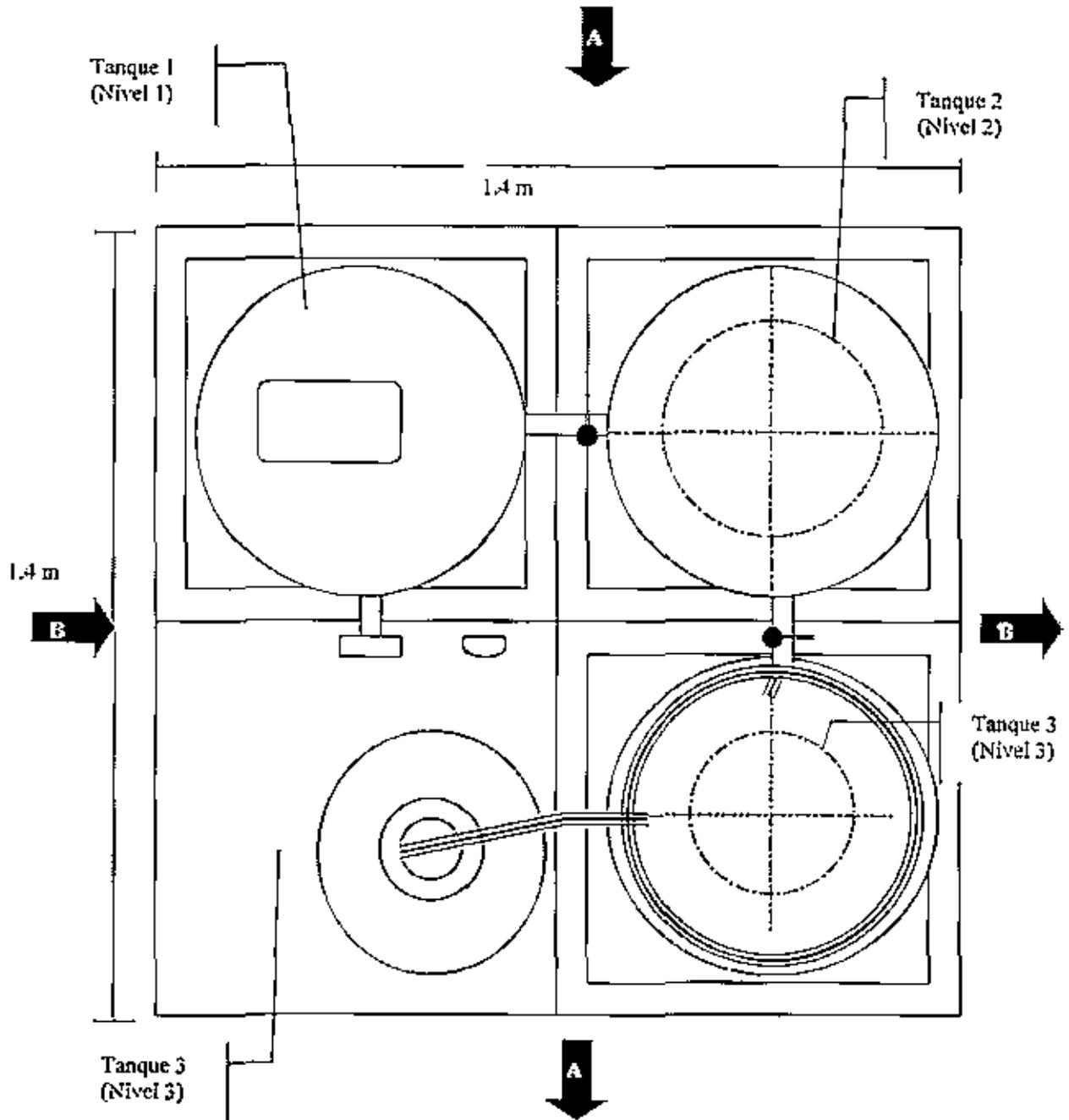
Tanque 3 (CORTE) INTERCAMBIADOR DE CALOR		
	acero inoxidable (304)	1/16.
	Acero Inoxidable (304)	15 cm
	Tubería de cobre	1cmØ
Diseño:	Wladir Valderrama	

Anexo 14. Vista Frontal del la línea de proceso (no incluye el molino).



Línea de Proceso (VISTA FRONTAL)	
	Altura
	Area de base
	Peso
110 W	Alimentación de energía
Diseño:	Wladir Valderrama

Anexo 15. Vista de planta de la línea de proceso (no incluye el molino)

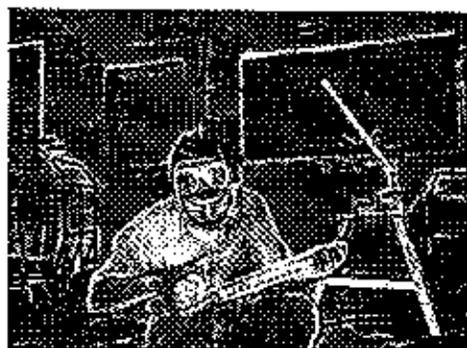


Línea de Proceso (PLANTA)	
	Altura
	Area de base
	Peso
110 W	Alimentación de energía
Diseño:	Wladir Valderrama

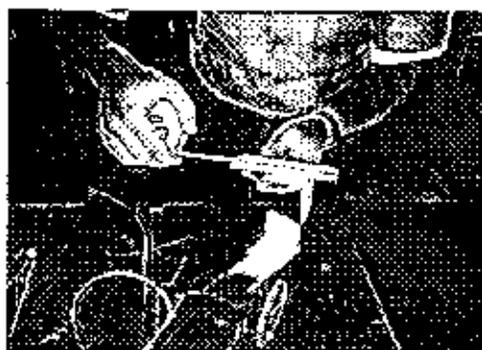
Anexo 16. Imágenes del proceso de construcción de la línea.



a) Soldadura de estructura.



b) Medición de piezas.



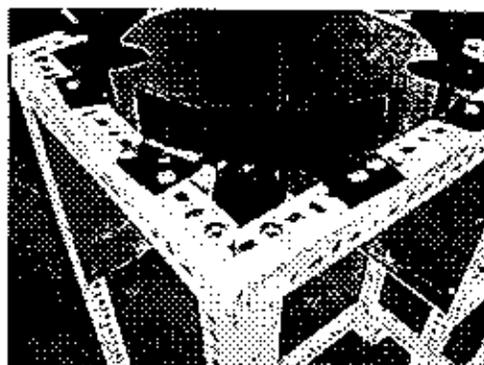
c) Medición de accesorios.



d) Pulido preliminar.



e) Pintado con anticorrosivo, accesorios.



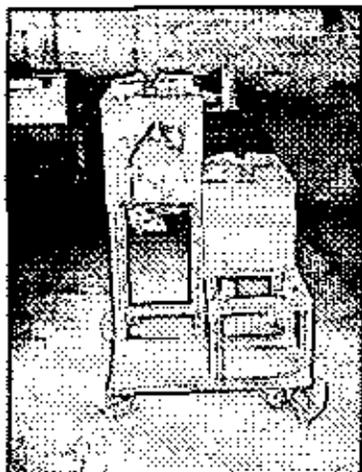
f) Detalle de acople, estructura-



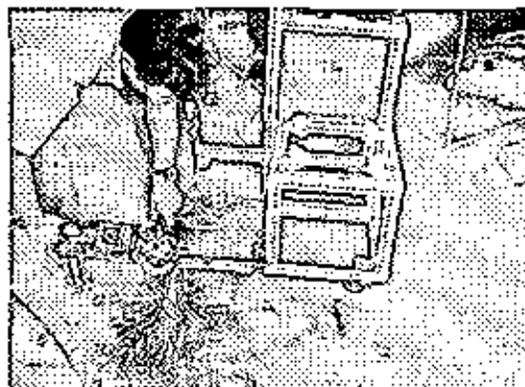
g) Ensamble de paneles laterales (nivel 1).



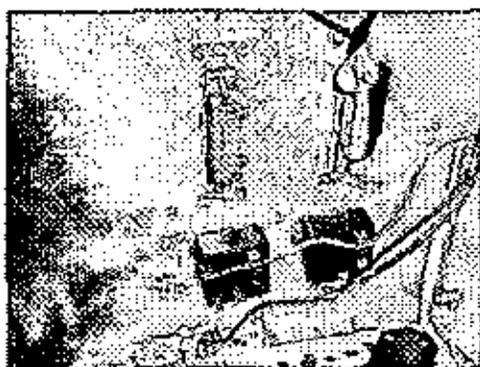
h) Ensamble de agitador (tanque 1).



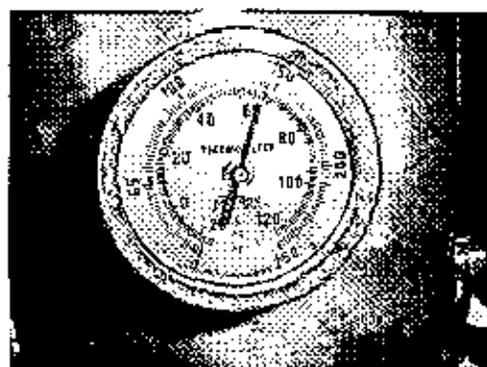
i) Estructura pintada.



j) Pulido de base (nivel 4).

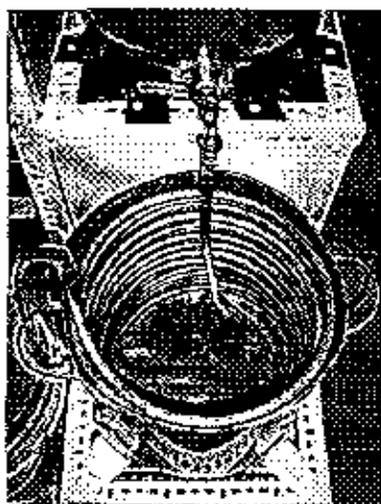


k) Detalle de termostatos y interruptores.

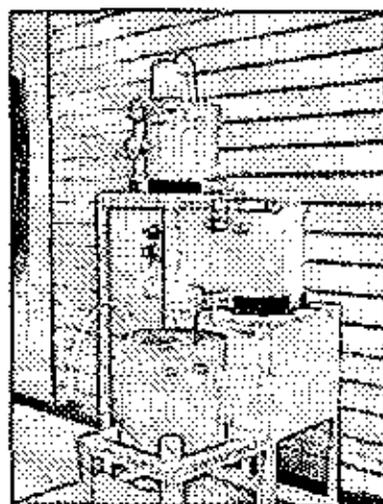


L) Detalle de termómetro ensamblado (tanque

1).



m) Detalle de intercambiador de calor.



C) Línea de proceso ensamblada.

Anexo 17. Resultados de balance de agua y sólidos de tanque 1.

Balance de masa (Tanque 1)							
	Entradas			Salidas			
	Agua	Malta	Agua de enjuage	Vapor	Wort	Cama	Sedimento
Masa de sólidos (1)	0.00	2.39	0.00	0.00	1.41	0.59	0.34
Masa de sólidos (2)	0.00	2.39	0.00	0.00	1.40	0.58	0.33
Masa de sólidos (3)	0.00	2.39	0.00	0.00	1.41	0.59	0.34
Masa de sólidos (4)	0.00	2.39	0.00	0.00	1.40	0.59	0.34
Masa de sólidos (5)	0.00	2.39	0.00	0.00	1.41	0.59	0.33
Promedio	0.00	2.39	0.00	0.00	1.41	0.59	0.34
Error estándar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Desviación estándar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Coef. de variación (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.63	0.56

Balanza de masa (Tanque 1)							
	Entradas			Salidas			
	Agua	Malta	Agua de enjuage	Vapor	Wort	Cama	Sedimento
Masa de agua (1)	14.00	0.41	2.16	0.72	12.63	1.54	1.67
Masa de agua (2)	14.00	0.41	2.17	0.74	12.64	1.50	1.67
Masa de agua (3)	14.00	0.41	2.17	0.74	12.60	1.54	1.66
Masa de agua (4)	14.00	0.41	2.16	0.73	12.55	1.54	1.66
Masa de agua (5)	14.00	0.41	2.18	0.73	12.63	1.54	1.65
Promedio	14.00	0.41	2.16	0.73	12.61	1.53	1.66
Error estándar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00
Desviación estándar	0.00	0.01	0.00	0.01	0.03	0.02	0.01
Coef. de variación (%)	0.00	1.36	0.00	1.21	0.27	1.23	0.51

Anexo 18. Resultados de balance de agua y sólidos de tanque 2.

Balanza de masa (Tanque 2)					
	Entradas		Salidas		
	Wort	Lúpulo	Vapor	Wort 12°Brix	Sedimento
Masa de sólidos (1)	1.41	0.05	0.00	1.06	0.32
Masa de sólidos (2)	1.40	0.05	0.00	1.06	0.31
Masa de sólidos (3)	1.41	0.05	0.00	1.05	0.32
Masa de sólidos (4)	1.40	0.05	0.00	1.07	0.30
Masa de sólidos (5)	1.41	0.05	0.00	1.05	0.32
Promedio	1.41	0.05	0.00	1.06	0.32
Error estándar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Desviación estándar	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Coefficiente de variación	0.30	0.00	0.00	0.64	2.38

Balanza de masa (Tanque 2)					
	Entradas		Salidas		
	Wort	Lúpulo	Vapor	Wort 12°Brix	Sedimento
Masa de Agua (1)	12.63	0.01	1.42	9.22	2.02
Masa de agua (2)	12.64	0.01	1.64	8.99	2.02
Masa de agua (3)	12.60	0.01	1.50	9.15	1.96
Masa de agua (4)	12.55	0.01	1.53	9.04	1.99
Masa de agua (5)	12.63	0.01	1.51	9.11	2.01
Promedio	12.61	0.01	1.52	9.10	2.00
Error estándar	0.02	0.00	0.04	0.04	0.01
Desviación estándar	0.03	0.00	0.08	0.09	0.03
Coefficiente de variación	0.27	0.00	5.21	1.00	1.29

Anexo 19. Costo total de materiales usados.

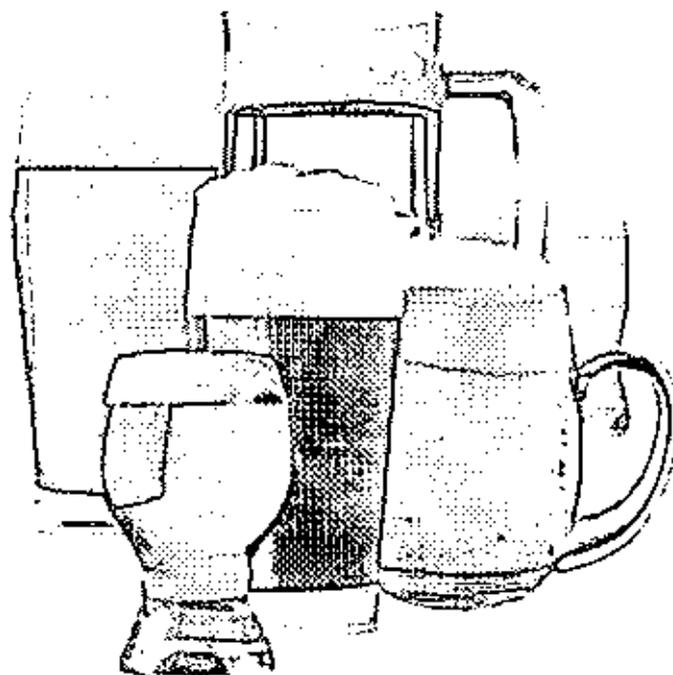
Producto	Unidad	Cantidad	Costo unitario (L.)	Costo total	%
Ángulo ranurado (3.5x3.5 cm), 106.5 cm	Unid.	4.00	48.00	192.00	2.4
Ángulo ranurado (3.5x3.5 cm), 35.5 cm	Unid.	2.00	16.00	32.00	0.4
Ángulo ranurado (3.5x3.5 cm), 37.5 cm	Unid.	12.00	16.95	203.40	2.6
Ángulo ranurado (3.5x3.5 cm), 70 cm	Unid.	2.00	31.60	63.20	0.8
Ángulo ranurado (3.5x3.5 cm), 75 cm	Unid.	5.00	33.90	169.50	2.2
Cable 2 x12	m.	6.00	2.61	15.86	0.2
Camisas de Acero inoxidable (304) ½"	Unid.	2.00	90.00	180.00	2.3
Criba circular de aluminio (6/64")	m²	0.07	200.00	14.00	0.2
Electrodos de 60/11	Unid.	30.00	1.75	52.50	0.7
Enchufe, Eagle ®, 50 amp	Unid.	1.00	20.00	20.00	0.3
Interruptor	Unid.	1.00	20.00	20.00	0.3
Lámina de acero inoxidable (304) (1/8") (0.75 x 0.75m)	m²	0.58	105.00	58.80	0.7
Lámina de aluminio 1.2 m²	m²	1.20	60.00	72.00	0.9
Lámina de hierro (35x35 cm)	m²	0.12	25.00	3.00	0.0
Lámina de hierro 2" x 60"	Unid.	1.00	25.00	25.00	0.3
Llaves de paso de apertura rápida ½"	Unid.	2.00	58.00	116.00	1.5
Manguera plástica transparente 3/8"	pulg	72.00	2.05	147.60	1.9
Motor de baja revolución.(14 RPM)	Unid.	1.00	850.00	850.00	10.8
Pintura Anticorrosivo	gal	0.25	250.01	62.50	0.8
Pintura esmalte mate blanco	gal	0.25	285.00	71.25	0.9
Pintura esmalte mate negro	gal	0.25	262.60	65.65	0.8
Resistencias 120V, 1750W modelo SF 171 MA	Unid.	2.00	134.59	269.18	3.4
Ruedas 9 cm. Diámetro (360° de giro)	Unid.	4.00	50.00	200.00	2.5
Tanques de acero inoxidable (304) (30 cm Ø)(30 cm, h)	Unid.	3.00	1,133.00	3,399.00	43.2
Termómetro, rosca ½" carátula de 3", -20 - 120°C, M	Unid.	1.00	822.33	822.33	10.5
Termostatos de 5 amperios.	Unid.	2.00	160.00	320.00	4.1
Pernos con tuercas zincados C/R unc 2x1/4x1/2"	Unid.	96.00	0.45	43.20	0.5
Tubería de cobre (3/8")	m.	16.00	23.30	372.80	4.7
Costo total				7,860.57L.	

Anexo 20. Costo Fijo de formulación por tandu de 9.76 l.

Formulación de Cerveza Lager Tipo Zamorano				
Ingredientes	Kg	%	Costo por kg.	Costo total
Malta de cebada "Krista"	2.8	13.55%	4.62	12.936
Lúpulo				0
a) "GALENA" (13.4% ác alfa)	0.02025	0.10%	870	17.6175
b) "HALLERTAU" (4.4% ác alfa)	0.02025	0.10%	870	17.6175
c) "NORTHERN BREWER" (7.7% ác alfa)	0.01626	0.08%	870	14.1462
Agua	17.8	86.13%	0.006	0.1068
Levadura	0.009	0.04%	90	0.81
Total	20.7	100.00%		63.234

Anexo 20. manual de operación

Manual de operación de la línea de proceso para la elaboración de cerveza Lager tipo "Zamorano"



Elaborado con el auspicio de:



Prefacio:

El presente manual ha sido escrito como parte de la realización del proyecto especial "Diseño y construcción de línea de proceso para la elaboración de cerveza con fines educativos". La finalidad del manual es la de guiar de manera clara y sencilla a cualquier persona que desee operar la línea de proceso para elaboración de cerveza "Zamorano", de manera segura tanto para el usuario como para el equipo.

El diseño y elaboración del equipo, fueron íntegramente realizados en las instalaciones de Zamorano por el autor del proyecto especial, bajo la asesoría principal del ing. Edward Moncada y secundaria del Ing. Enrique Barros, y la Doctora Adela Acosta. Supeditada a las limitaciones y facilidades tanto de recursos materiales, económicos, como de tiempo de la institución.

Agradecimientos:

A mis asesores y la la gente de la planta por su apoyo en todo momento, a Marvin Funes, a Camilo Valerio y a Efraín Banegas.

Introducción:

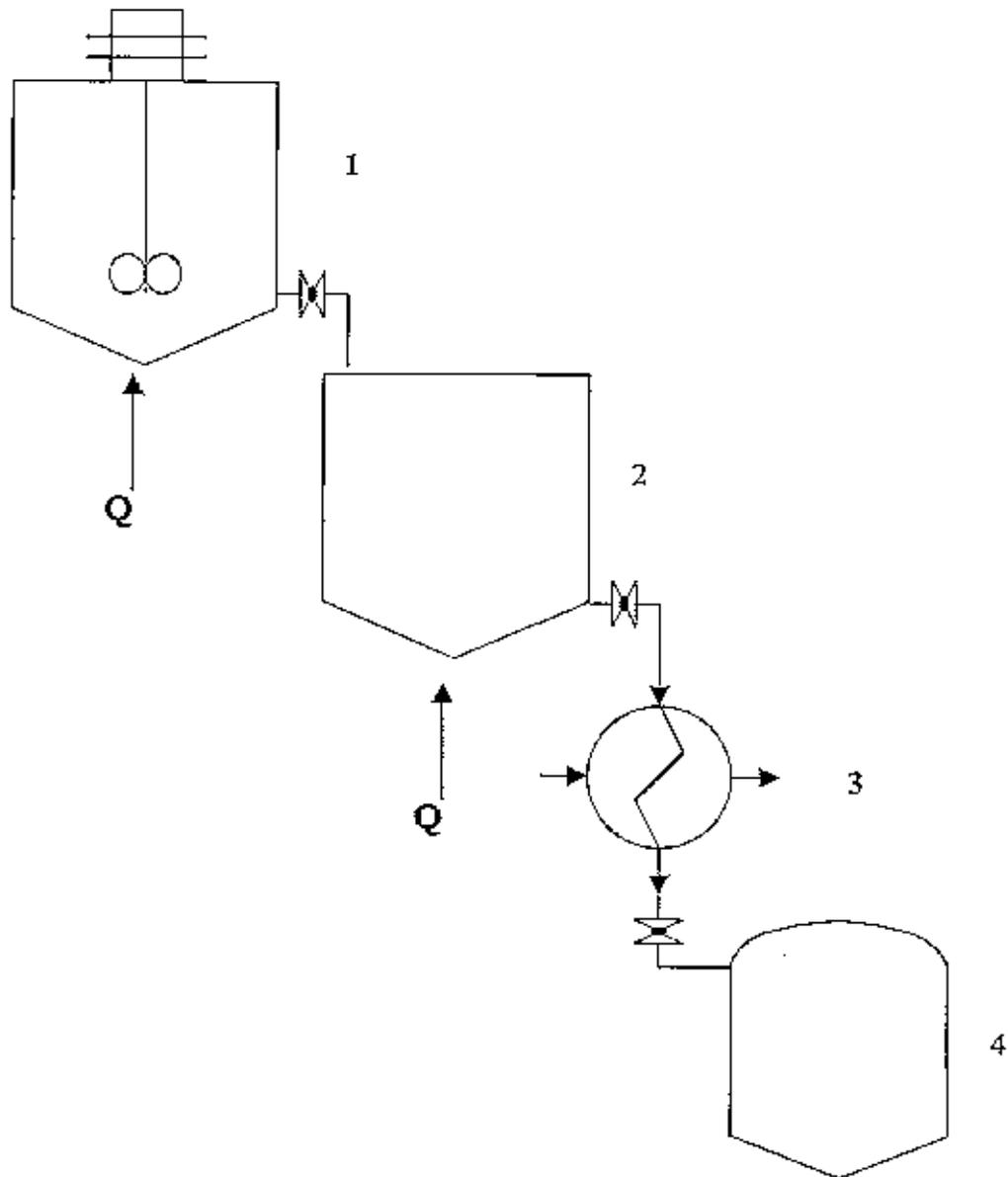
El presente manual pretende en primera instancia proporcionar una visión general de los distintos componentes físicos de la línea de proceso, lo cual servirá para entender de manera integral los procesos, posteriormente pretende mostrar la manera y cuidados para elaborar una cerveza Lager tipo "Zamorano", cabe resaltar que la formulación de esta cerveza no es estática, lo que se espera que con el tiempo y la experiencia se perfeccione hasta lograr un producto con características sensoriales adecuadas y que se desarrollen diferentes formulaciones, por último se pretende dar las pautas para un adecuado mantenimiento del equipo.

Índice

1 - COMPONENTES FÍSICOS	6
Esquema general.....	6
Esquema gráfico.....	7
Comparación de una línea de proceso convencional y la línea de proceso "zamorano".....	8
2 - ELABORACIÓN DE CERVEZA LAGER TIPO "ZAMORANO..	9
Preparación de materiales.....	10
Sanitización de equipos.....	11
Ensamble de la línea de proceso.....	11
Parámetros de proceso para elaboración de cerveza Lager tipo "Zamorano".....	13
3 - Cuidados de la línea de proceso.....	18
4 - Glosario.....	19

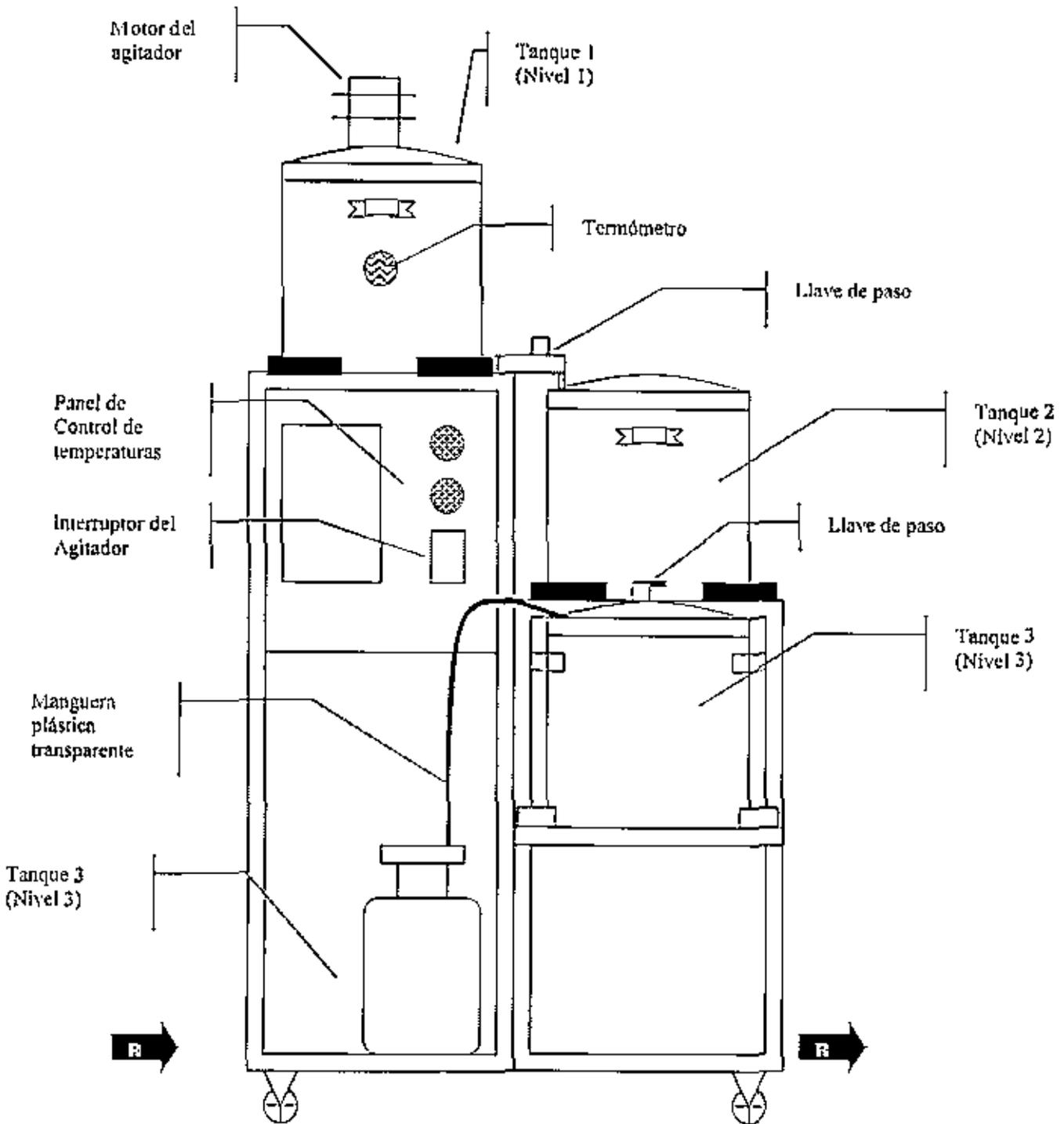
1.- COMPONENTES FÍSICOS

Esquema General:



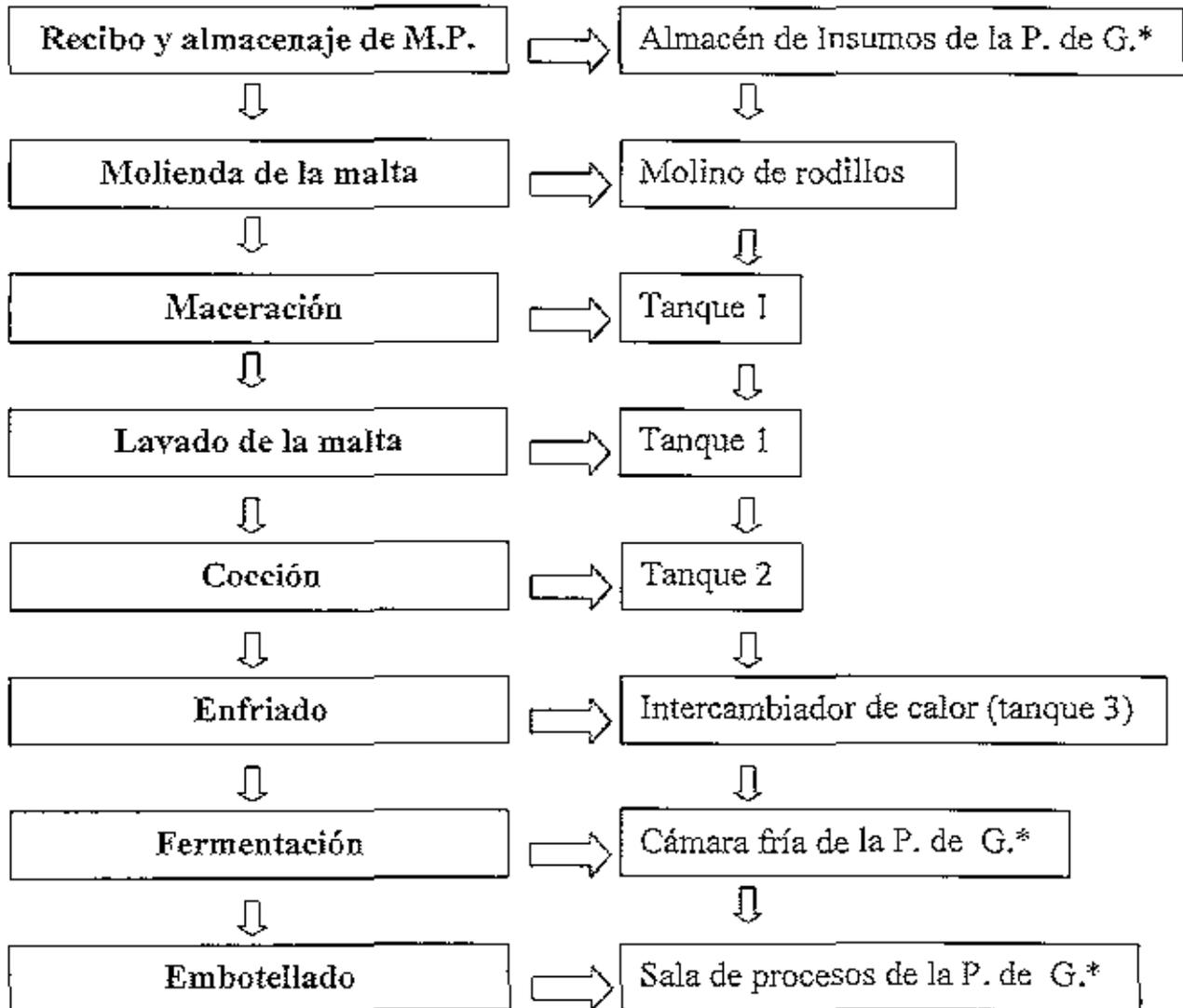
- 1- Tanque de extracción de malta
- 2- Tanque de Estandarización y aromatización
- 3- Intercambiador de calor
- 4- Tanque de fermentación

Esquema Gráfico:



Comparación de línea de proceso convencional vrs. línea de proceso "Zamorano":

El objetivo de esta comparación es poder visualizar de manera clara como ambas líneas de procesos son esencialmente la misma.



* Planta de granos

2.- ELABORACIÓN DE CERVEZA LAGER TIPO "ZAMORANO"

Preparación de los materiales:

Se deberá tener a la mano todos los insumos, a continuación se presentarán una lista de insumos requeridos. Se asume que todos los utensilios se encuentran previamente lavados y secos y han sido correctamente almacenados.

Malta	2.8 kg
Agua	14kg
Agua a 75°C	2.8Kg.
lúpulo	56.7g.
>Galena (13.4% de ácidos alfa)	20.25 g.
>Northern Brewer (7.7% de ácidos alfa)	20.25 g.
>Hallertau (4.4% de ácidos alfa)	16.2 g.
Refractrómetro (0-32°BRX)	1 unid.
Agua destilada	0.5 L
Papel no abrasivo para limpiar el refractrómetro	5 toallas
Balanza**	1 unid.
Balanza***	1 unid.
Probeta de 100 ml	1 unid.
Pipeta plástica	1 unid.
Papel Toalla	1 unid.
Solución de cloro (100ppm)	5 L
Embudo de vidrio	1 unid.
Termómetro	1 unid.
Paño limpio (para filtración)	1 toalla

* Tanques, llaves, termómetro, agitador, espiral de cobre

** Con capacidad para pesar miligramos

*** Con capacidad para pesar hasta 30 Kg.

SANTITIZACIÓN DE EQUIPOS: Se recomienda preparar para este fin una solución de 100 ppm de cloro, en caso de utilizar cloro en polvo al 65%, se deberá utilizar 0.15 g. por litro de solución. En vista de que tanto de equipo como de instalaciones no son los óptimos, utilizar equipo adecuado como mascarillas, guantes estériles, gabachas limpias, para evitar una contaminación del caldo de fermentación.

ENSAMBLE DE LA LÍNEA DE PROCESO

Antes de comenzar se deberán ensamblar cada uno de los componentes de la línea siguiendo los siguientes pasos:

- I. **Limpíar con un trapo húmedo (casi seco).** con una solución de cloro la superficie de la estructura que soporta los tanques.
- II. **Ensamblar el agitador del tanque 1.** Primero se debe ensamblar el motor a la tapa del tanque 1, cuidando que entre la tapa de acero inoxidable y el motor sea colocado el empaque de neopreno (rojo), posteriormente se deberá ensamblar las paletas.



- III. **Colocar el plenum en el tanque 1.** Teniendo cuidado de coincidir el agujero lateral del mismo con la abertura de salida donde va a ser colocada la llave.

- IV. **Ensamblar la tubería del tanque 1.** primero se deberá forrar con teflón, aproximadamente 10 cm, la rosca de la llave con la finalidad de crear un empaque evitando fugas, no poner demasiado, ya que después se necesitaría demasiada fuerza para enroscarlo adecuadamente. Posteriormente se deberá

enroscar de tal manera que la salida de la llave quede para abajo. **NOTA:** Se debe colocar la llave sin el aditamento para colocar mangueras.

- V. **Ensamblar el termómetro del tanque 1.** Se deberá proceder con el teflón de la misma manera que se hizo con la llaves, cuidando que la carátula del termómetro no quede demasiado ajustada, debe colocarse la carátula en la posición normal para facilitar la lectura del mismo.



NOTA: Una vez terminado este proceso, es posible sanitizar con agua clorada tanto el interior del tanque como el exterior, esto se puede hacer vaciando 1 L de solución clorada dentro del tanque y posteriormente proceder a escurrir. Posteriormente llenar el tanque 1 con agua poniéndolo sobre una balanza, destarándolo y luego pesándolo hasta llegar a 14 Kg. Para colocarlo seguidamente en la posición correspondiente en la estructura que soporta los tanques.



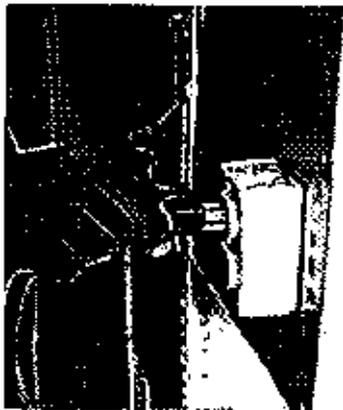
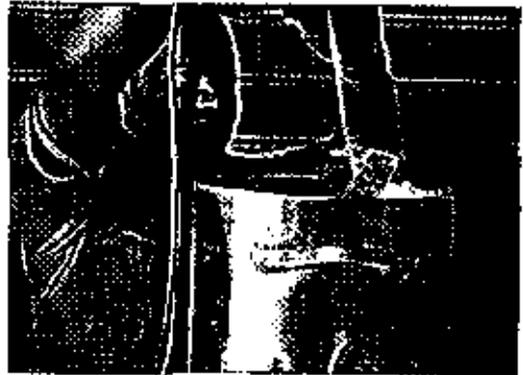
- VI. **Colocar el tanque 2 en la estructura.** Debidamente higienizado con el procedimiento anterior, teniendo cuidado de que las llaves (tanto de entrada como de salida) estén colocadas adecuadamente, asegurarse de que estén cerradas al empezar la operación.

- VII. **Colocar el espiral de cobre dentro del tanque 3.** Teniendo cuidado en su manipulación, procurando que sea posible enroscar la pieza a la llave del tanque 2 y que sea posible evacuar el producto hacia la zona destinada para ello en la estructura. **Nota:** En este equipo no deberá usarse cloro en este momento ya que podría interferir con el desempeño de las levaduras, la limpieza profunda y



minuciosa se deberá hacer inmediatamente se termine de usar.

- VIII. **Una vez incorporada la malta molida al tanque 1 se deberá tapar.** Se debe tener cuidado de no golpear el termómetro con las paletas, posteriormente se procederá a conectar el motor del agitador a la estructura. A partir de este momento el motor se controlará con el interruptor



colocado en el panel de control, por ningún motivo deberá ser manipulado hasta que la maceración concluya. Seguidamente se deberá colocar la estructura a la línea de energía de la planta.

- IX. **Verificar que se tengan suficientes recipientes de fermentación.** Con sus respectivas válvulas, estos deberán estar limpios, desinfectados y secos (autoclave), las válvulas deberán estar en un recipiente con solución clorada a 100 ppm durante media hora.



PARÁMETROS DE PROCESO PARA ELABORACIÓN DE CERVEZA LAGER TIPO "ZAMORANO"



MOLIENDA DE LA MALTA: El objeto de moler es partir la cáscara, preferiblemente longitudinalmente, para exponer el endospermo harinoso y así tener una extracción eficiente, y la subsiguiente filtración. No es recomendable moler de manera excesiva, ya que esto podría traer problemas de filtrado y podría aumentar la viscosidad del caldo de fermentación a causa de un exceso de beta glucanos, además puede ocasionar la formación de grumos durante la extracción que

mantendrán el interior seco, teniendo como resultado una pérdida de eficiencia en la extracción.



Para molinos rotatorios, se recomienda una separación de 0.25 a 0.30 mm entre rodillos.

Se debe dejar caer la malta en la descascaradora de arroz, de manera suave evitando derramamientos, esto se debe hacer preferiblemente entre 2 personas, una

persona deposita el producto y otra supervisa y deposita la malta molida en un recipiente adicional.

MACERACIÓN: La maceración es el proceso en el cual la malta y los adjuntos son mezclados con agua en un proceso controlado de calentamiento, para digerir y extraer proteínas carbohidratos, enzimas y sustancias fenólicas, para obtener azúcares fermentables y compuestos nitrogenados para la nutrición de la levadura. Controlando el proceso de maceración es posible alcanzar un balance entre los materiales deseados y no deseados, los errores durante este proceso no son fácilmente corregibles y pueden hacer que el resto del proceso sea



muy difícil, este proceso se realizará en el tanque 1. La proporción de agua para elaborar la cerveza tipo Zamorano es de 5 hl/100 kg de malta (5:1), lo cual nos indica que deberemos usar 2.8 kg de malta y 14 kg de Agua.

Las temperaturas a las que se debe llegar son de 65°C por 20 minutos, 72°C por 20 minutos y 75°C por 20 minutos.(Ver figura 1). El incremento de temperatura de maceración, no deberá ser mayor que 1°C / minuto de lo contrario se producirá un daño térmico de las enzimas, lo cual quiere decir que el tiempo mínimo que deberíamos hacerlo es de 71 minutos. Sin embargo para nuestro diseño el tiempo de duración promedio es de 132 minutos.

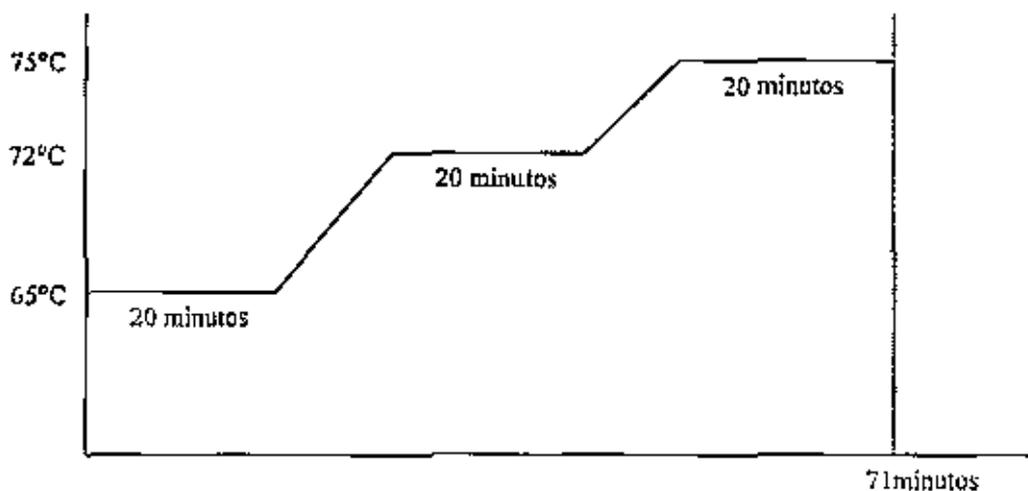


Figura 1. Tiempos y temperaturas de maceración de malta de cebada.

Nota: Una buena práctica de manufactura consiste en realizar un calentamiento hasta ebullición de agua, 10L aproximadamente en el tanque 2, y hacer que fluya a esta temperatura por el intercambiador de calor, con lo cual se conseguirán principalmente 2 cosas, dar un tratamiento térmico severo al interior del espiral de cobre y mantenerlo lleno de agua desplazando cualquier burbuja de aire que pueda interferir con el caldo, posteriormente el caldo aromatizado y estandarizado a 12°Brix desplazará este fluido, el cual será excluido de la fermentación.



SEPARACIÓN DEL CALDO (PASO DE TANQUE 1 A TANQUE 2): En esta etapa del proceso el caldo ha sido acondicionado para la fermentación, este proceso consiste en separar las partículas insolubles del grano del líquido extraído sin alterar químicamente el caldo. El filtrado es realizado por el material no soluble del caldo. Es importante realizar un enjuague utilizando una cantidad de agua a 75°C igual al 20% del volumen contenido

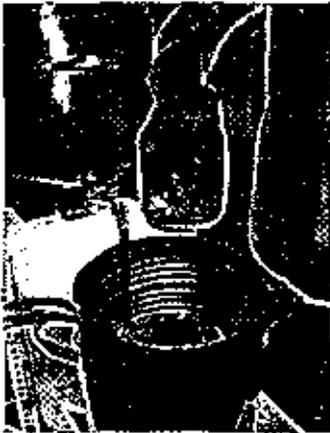
en el tanque 2, para esto se debe cerrar la llave del tanque 1 y rociar de manera homogénea el agua sobre la cama formada a fin de extraer los azúcares remanentes en la cama, posteriormente abrir la llave y dejar que la solución azucarada pase al tanque 2. **NOTA:** Es importante utilizar un colador con un paño debidamente limpio y desinfectado para prevenir el paso de algunas partículas pequeñas que podrían afectar posteriormente el proceso al final de la llave del tanque 1. El volumen del tanque 2 se puede hallar de manera indirecta calculando la distancia del borde superior al líquido, sabiendo que la dimensiones de los tanques son de 30 cm. de diámetro por 30 cm. de altura.

COCCIÓN DEL CALDO: La línea de proceso permite la utilización de adjuntos como jarabes o azúcar refinada, estos se adicionan durante la cocción, estos son esterilizados y causan que estos adjuntos entren en ciertas reacciones de calor como la caramelización. en este paso se realiza la adición de lúpulo, al llegar a temperaturas de ebullición, se deberá agregar la dosis de 20.25 g de Galena y Northern Brewer respectivamente y 15 minutos antes de terminar la cocción el Hallertau, con este proceso se logra la aromatización de la cerveza.



Durante la ebullición ocurren varios procesos importantes:

- Extracción y transformación de los componentes del lúpulo
- Formación y precipitación de complejos, proteína-polifenoles
- Evaporación de agua
- Esterilización del caldo
- Desnaturalización de todas las enzimas
- Incremento en la coloración del caldo
- Acidificación del caldo
- Formación de sustancias reductoras



ENFRIADO DEL CALDO: El caldo entra al intercambiador de calor a 85°C con un flujo turbulento y deberá salir a 16°C, con lo cual se logra el efecto deseado de cambio de temperatura durante este proceso la claridad inicial del caldo se pierde y se torna turbio debido a la formación de un precipitado en frío, el cual consiste en componentes de proteína y polifenoles que precipitan en un medio

relativamente frío y se disuelven parcialmente nuevamente al calentarse. La mayoría de cervecerías no remueve el precipitado en frío.

Primeramente se deberá llenar el tanque 3 (que contiene la tubería de cobre) con hielo, posteriormente se llenarán los espacios vacíos con agua. Se deberá cuidar que toda la tubería quede cubierta.



Al empezar el llenado de los tanques de fermentación se deberá usar máscara y guantes, se deberá tener un recipiente preparado para desechar el agua que desplaza el caldo aromatizado y estandarizado

a 12° Brîx de dentro de la tubería de cobre, una vez realizado esto se procederá a llenar los tanques de fermentación, utilizando para ello un embudo de vidrio y la misma malla que se utilizó anteriormente (desinfectada) para prevenir la entrada de partículas muy grandes. El proceso culmina cuando se ha puesto el sello de agua a los tapones, creando con esto el ambiente adecuado para un correcto desarrollo de las levaduras.

FERMENTACIÓN DEL CALDO: La transformación de mosto aromatizado a cerveza es efectuado mediante la fermentación. Si la fermentación se lleva entre 7°C y 10°C, tendrá una duración aproximada de 20 días y si se lleva a cabo a 5°C tendrá una duración



aproximada de 30 días, así mismo temperaturas bajas de fermentación favorece la formación de alcoholes de cadena corta. En nuestro caso la operación se realizará en tanques de vidrio con un revestimiento plástico, en una cámara fría a 15°C (debido al factor tiempo) con una capacidad de 2.5L c/u, sin embargo solo se

llenarán 2L. Las propiedades sensoriales y el carácter de la cerveza dependen en gran parte del tipo de levadura y de la manera en que se conduce la fermentación. Esta es una de las operaciones más críticas en la fabricación de cerveza.

La densidad aproximada del mosto es 1.040 y del producto terminado de 1.008 a 1.010 g/cm³. La generación de ácidos orgánicos propicia a que se disminuya el pH de la cerveza hasta aproximadamente 4.2. La cerveza no está lista para consumo o comercialización, requiere ciertos tratamientos antes de ser expendida. Las principales etapas post-fermentación son: carbonatación, modificación final del sabor, clarificación.



3.- CUIDADOS DE LA LÍNEA DE PROCESO.

- ❖ Tener siempre presente que la fuente de energía de la línea de proceso es eléctrica, tanto para elevar el fluido a las temperaturas requeridas, como para el movimiento del agitador, razón por la cual se deben tener en todo momento los mismos cuidados que a cualquier otro aparato eléctrico.
- ❖ Recordar que se trabaja con altas temperaturas, por lo que se recomienda manipular siempre con guantes, evitando quemaduras.
- ❖ Antes de empezar cualquier manipulación ajena al proceso, desconectar el equipo.
- ❖ Al terminar el proceso se deben desmontar los 3 tanques de acero inoxidable con todas sus partes, deberán ser lavadas con agua corriente y detergente, retirando toda partícula adherida a la superficie de los mismos.
- ❖ Limpiar con un paño húmedo todas las superficies de la estructura, retirando partículas extrañas.
- ❖ Seguir los siguientes pasos con respecto al intercambiador de calor.
 - 1) Retirar el hielo
 - 2) Retirar la tubería de cobre
 - 3) Desmontar y lavar las partes plásticas
 - 4) Ayudados por una manguera correr agua durante 10 minutos en una dirección de la tubería y 10 minutos en la otra.
 - 5) Preparar una solución de detergente al 2% e introducirla a la tubería, reposar 10 minutos y repetir el paso anterior.

NOTA: ES IMPORTANTE REALIZAR ESTE PROCESO INMEDIATAMENTE DESPUES DE TERMINADO EL PROCESO, YA QUE POSTERIORMENTE SERÁ MÁS DIFÍCIL.

4.- GLOSARIO

ADJUNTOS: Las materias auxiliares o adjuntos tienen importancia en la fabricación de cervezas claras y estables, por su almidón son una fuente de alcohol, lo mismo que el almidón de cebada pero contribuyen poco al color, sabor, aroma y contenido de proteínas. Los cereales con un alto contenido de aceites son considerados indeseables en la fabricación de cerveza, pero sí a aquel que se le a extraído el germen que contiene la mayor cantidad de aceite.

CERVEZA: La cerveza es una bebida resultante de la fermentación alcohólica, mediante levadura seleccionada, de un mosto procedente de la malta (germinación, secado y tostado de los granos de cebada), al que se han agregado lúpulos y sometido a un proceso de cocción.

ENZIMA: Es un complejo de proteínas que producen un cambio específico sobre otras sustancias sin que exista un cambio sobre sí mismas.

LÚPULO: Planta trepadora de la familia de las canabáceas, cuyos frutos, desecados, se emplean para aromatizar y dar sabor amargo a la cerveza.

MALTA DE CEBADA: Se da este nombre a los granos germinados de cebada y cuya germinación a sido detenida en su comienzo. La malta de cebada es la materia prima fundamental y preferida a otros cereales pues el grano esta revestido por una cáscara que protege el germen durante el malteado y evita que el grano pierda su contenido de almidón, elemento esencial en la posterior transformación durante el braceado. Además durante la filtración del mosto en la etapa de cocimiento, la cáscara sirve de lecho filtrante, facilitando de esta manera la separación del mosto de la parte sólida u orujo.