

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



PROYECTO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
QUIMICO

**REDUCCIÓN DE VAPOR EN COCEDOR DE
MOSTO DE CCU, DISMINUYENDO EL COSTO DE
ELABORACIÓN DE LA CERVEZA**

Rolph Obreque Galaz

Profesor guía:
Javier Silva Campino
Jaime Fernández Celis

2015

Agradecimientos

Los seres humanos estamos acostumbrados a pensar negativamente sobre las acciones que realizamos o vamos a realizar, es por ello que frecuentemente nos llenamos de negatividad y es nuestra responsabilidad dejar que ello influya en nuestras decisiones y actitudes. La solución para la negatividad es trabajar todos en equipo, no menospreciar a nadie, todo lo contrario todos cuentan, caminando en una sola dirección venceremos esa atmósfera maliciosa y crearemos una apropiada para cumplir nuestros objetivos. *David Fischman*.

Primero que todo, agradezco a Dios por lo más maravilloso que una persona puede tener, la vida, la cual nos presenta diferentes obstáculos para lograr nuestros objetivos, ¿qué sería de la vida si uno no tuviera problemas? En segundo lugar, agradezco a mi familia por todos los valores, estímulos y fortalezas que me han entregado. En estas líneas quisiera resaltar dos de ellas: el optimismo y la perseverancia. Gracias a estas cualidades, mantengo estos dos lemas de vida respectivamente, “bien, siempre bien” y “ante la adversidad, hazte fuerte”. Estos lemas de vida, están relacionados con lo que dice David Fischman, que uno no debe ser negativo para vivir la vida, todo lo contrario, tiene que ser optimista para resolver los problema que ésta le trae, porque siempre tendrá un problema nuevo que resolver, ya sea económico, familiar o de cualquier índole. En tercer y último lugar, quisiera agradecer a todo el cuerpo docente de la Escuela Ingeniería Química, los cuales me proporcionaron las herramientas necesarias para desenvolverme en el ámbito profesional, y poder realizar este trabajo final de titulación, en especial a mis profesores guías Javier Silva Campino y Jaime Fernández Celis.

Dedicatoria

Dedico esta memoria de titulación al bebé que viene en camino y a mis dos sobrinos, Gonzalo y Martín.

Resumen

Esta memoria se desarrolló en la empresa Compañía Cerveceras Unidas (CCU), en la planta de Quilicura, donde se produce la cerveza. Este trabajo se desarrolló en la elaboración de la cerveza en la etapa de cocimiento, principalmente en la cocción del mosto, para esto se utilizaron los diferentes equipos de esta etapa de elaboración y los laboratorios de físico químico y del microbiológico, además de todo un equipo para desarrollar los diferentes pruebas y análisis de la cocción del mosto, la cual es una etapa fundamental para la elaboración de una cerveza de primera calidad, donde se consigue una espuma estable y sabores constantes, con una perfecta armonización de las fases de calentamiento y ebullición. Una vez que el mosto sale del proceso de maceración es filtrado, para luego pasarlo por un intercambiador de calor, lo cual le permite un aumento de temperatura de alrededor de un 20%. Este aumento de temperatura permite una disminución de vapor en la etapa de calentamiento, la cual termina cuando el mosto llega a su temperatura de ebullición que son 98°C. Mientras mejor sea la recuperación de energía, menor vapor se consumirá en el calentamiento, por tanto se tendrá una menor carga térmica del mosto. Las funciones principales del cocedor de mosto son: la isomerización del lúpulo, la inactivación de las enzimas, la esterilización del mosto, la eliminación de compuestos aromáticos indeseados y el aumento de la concentración. En el caso que una de estas funciones no se lleva a cabo como lo amerita, se tendrá un inconveniente en las siguientes etapas de elaboración de la cerveza, como son la fermentación y el filtrado.

Considerando que la energía en cualquier ámbito industrial resulta relevante, ya que la cantidad de combustible utilizado impacta negativamente el costo de producción y en el medio ambiente, es que se propone disminuir la carga térmica en el cocedor de mosto sin que la calidad de la cerveza se vea afectada. Para esto se desarrolló un plan de trabajo que consistió en la disminución del consumo de vapor en el cocedor de mosto, para luego analizar las muestras en el laboratorio físico químico. Una vez encontrada la mejor distribución del consumo de vapor (aumentar el consumo de vapor en el primer paso de la ebullición) en los diferentes pasos del cocedor y con el respaldo de los análisis del mosto entregados por el laboratorio físico químico, me permiten realizar un ensayo llamado "Rolph", el cual consistió en aumentar el consumo de vapor en el primer paso de ebullición, con un flujo de vapor más alto, esto permite tener una ebullición más vigorosa logrando expulsar la mayor cantidad de DMS posible en el inicio de la cocción y no teniendo en todo el proceso de cocción del mosto, posteriormente se disminuye significativamente el flujo de vapor, de igual forma se consigue la temperatura de ebullición del mosto. Este ensayo contiene tres cocimientos consecutivos que llenaron un

mismo estanque fermentador. Se necesitó que este estanque fuera fermentado y cosechado sólo, sin ninguna mezcla con otro cocimiento, para tener la mejor representación del ensayo. Con los resultados obtenidos del laboratorio físico químico y del microbiológico, ya sea del mosto como la cerveza cumpliendo con la especificación necesaria, se puede decir que el ensayo solucionó el objetivo planteado en este trabajo, disminuyendo 1000 kg de vapor por cada cocimiento, lo que implica tener un ahorro de \$48.000.000 al año.

Nomenclatura

%^P/_v: Porcentaje peso-volumen

%^P/_p: Porcentaje peso-peso

Cip: Cleaning in place → aseo en el lugar

CM: Caldo madre

DMS: Dimetil sulfuro

TBZ: Ácido tiobarbitúrico

EBC: Europa Brewing Convention

FAN: Amino nitrógeno libre

hl: Hectolitros

Kg: Kilogramos

l: Litro

°P: Grado plato

IBU: Unidad de amargor

Ppm=mg/l: Partes por millón

Ppb=ug/l: Partes por billón

DT: Druktank → Estanque cerveza filtrada.

TCC: → Estanque cilíndrico cónico

TR: → Estanque de reposo

UT: Unitank

Nº: Número

GFA: Grado de fermentación

ERE: Estanque recuperador de energía

aprox: Aproximado

s: Segundos

min: Minutos

ATM: Atmósfera

nm: Nanómetros

EDTA: Ácido etilendiaminotetraacético

etc: etcétera

Índice General

Agradecimientos.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Resumen.....	iv
1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes de la empresa.....	2
1.2. Problema a resolver.....	2
1.3. Fundamento de la memoria.....	3
1.4. Situación actual de cocimiento.....	4
1.5. Objetivos de la memoria.....	4
1.5.1. Objetivo general.....	4
1.5.2. Objetivos específicos.....	4
1.6. Plan de trabajo.....	4
2. Elaboración de cerveza en CCU Chile S.A.....	7
2.1. Materias primas fundamentales.....	8
2.1.1. Cebada.....	8
2.1.2. Lúpulo.....	10
2.1.3. Agua.....	10
2.1.4. Levadura.....	11
2.1.5. Adjunto (arroz).....	13
2.2. Proceso de Cocimiento.....	14
2.2.1. Recepción de malta.....	15
2.2.10. Cocedor.....	20
2.2.11. Sistema de cocción, enfriamiento y recuperación de energía.....	24
2.2.12. Whirlpool.....	27
2.2.13. Enfriadera.....	28
2.2.2. Molienda de malta.....	15
2.2.3. Recepción de arroz.....	17
2.2.4. Molienda de arroz.....	17
2.2.5. Autoclave.....	17
2.2.6. Macerador.....	18
2.2.7. Filtración del mosto.....	19
2.2.8. Estanque espera.....	20
2.2.9. Calmo.....	20
2.3. Proceso de Fermentación.....	30
2.4. Proceso de Filtración.....	34
3. Marco teórico.....	36
3.1. Funcionamiento del cocedor de mosto (Stromboli).....	36
3.2. Receta caldo madre 4 (cocedor).....	38
3.3. Pasos del cocedor de mosto.....	41
3.4. Funcionamiento de la chimenea del cocedor.....	44
4. Materiales y propósitos de análisis de mosto.....	47
4.1. Análisis mosto.....	47
4.1.1. Dimetil sulfuro total, libre y precursor.....	47
4.1.10. Análisis de concentración y densidad.....	50
4.1.11. Análisis de acidez.....	50
4.1.2. Índice de ácido tiobarbitúrico.....	48
4.1.3. Nitrógeno total.....	48
4.1.4. Amino nitrógeno libre.....	48

4.1.5. Nitrógeno coagulable.....	48
4.1.6. Análisis de Calcio	49
4.1.7. Análisis de Yodo.....	49
4.1.8. Análisis de amargor	49
4.1.9. Análisis del color.....	50
4.2. Especificación de cocimiento del mosto	51
4.3. Especificación de fermentación de la cerveza madura	52
4.4. Especificación de filtración de la cerveza final	53
5. Desarrollo plan de trabajo.....	54
5.1. Análisis general al cocedor de mosto	54
5.2. Análisis de mosto sin ninguna intervención	57
5.3. Distribución de los flujos de vapor en la ebullición.....	70
5.4. Análisis de mosto con intervención.....	73
6. Ensayo de tres cocimientos consecutivos	76
6.1. Análisis de los cocimientos mosto frío	77
6.2. Análisis de la fermentación del TCC N°63	79
6.2.1. Análisis del reposo	81
6.3. Análisis de la filtración	82
6.4. Análisis del envasado.....	82
7. Balance de masa y energía	84
7.1. Balance al calmo de mosto.....	84
7.1.1. Consumo de energía cocedor.....	96
8. Propuesta de solución	98
9. Estimación del costo del vapor	100
10. Conclusiones.....	104
Anexo.....	106
Bibliografía	117
Glosario.....	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1. Diferentes tipos de envases de posee CCU.	7
Figura N°2. Cebada plantada.	8
Figura N°3. Grano de cebada con un corte longitudinal.	9
Figura N°4. Planta de lúpulo.....	10
Figura N°5. Estructura de una levadura.....	11
Figura N°6. Reproducción de una levadura.	12
Figura N°7. Diagrama de bloque de la etapa de cocimiento (CM4).	14
Figura N°8. Descarga de los vagones cargados de malta, hacia las bodegas.....	15
Figura N°9. Pre-macerador de malta.	16
Figura N°10. Autoclave.....	18
Figura N°11. Macerador.	18
Figura N°12. Imagen exterior filtro Lauter.	1
Figura N°13. Imagen interior filtro Lauter.	1
Figura N°14. Estructura del filtro prensa Meura	19
Figura N°15. Calmo.....	20
Figura N°16. Cocedor con sus lupuladores.	21

Figura N°17. Sistema de cocción, enfriamiento y recuperación de energía.	25
Figura N°18. Whirlpool.	28
Figura N°19. Enfriadera de mosto.	29
Figura N°20. Diagrama de bloque de la etapa de fermentación.....	30
Figura N°21. Entrada del mosto con levadura al TCC.	31
Figura N°22. Traspaso de fermentador a reposo.....	33
Figura N°23. Diagrama de bloque de la etapa de filtración.....	34
Figura N°24. Recirculación del mosto por capilaridad.	37
Figura N°25. Recirculación del mosto por bombeo.....	37
Figura N°26. Las dos recirculación de mosto dentro del cocedor al mismo tiempo.....	38
Figura N°27. Funcionamiento del cocedor de mosto CM 4.....	40
Figura N°28. Recuperación de energía en la cocción.....	44
Figura N°29. Chimenea del cocedor de mosto.	45
Figura N°30. Proceso de calentamiento del mosto en contracorriente, fabricante.	84
Figura N°31. Proceso de calentamiento del mosto en contracorriente, proceso actual.....	90
Figura N°32. Proceso de calentamiento del mosto en contracorriente, proceso de ensayo.....	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1. Caldos madres y sus pintas.....	14
Tabla N°2. Diferencias entre las líneas de producción.	15
Tabla N°3. Tipos de estanque que conforman una bodega de fermentación.....	30
Tabla N°4. Receta caldo madre 4 (cocedor).....	40
Tabla N°5. Especificación de mosto antes de la cocción de éste.	51
Tabla N°6. Especificación de mosto después de la cocción de éste.....	51
Tabla N°7. Especificación de mosto después del enfriamiento.....	51
Tabla N°8. Especificación de cerveza fermentada.....	52
Tabla N°9. Especificación de cerveza filtrada.....	53
Tabla N°10. Resumen de una semana, mismo caldo madre (CM 4).	55
Tabla N°11.1. Análisis nitrógeno total cocimiento N°3222.	57
Tabla N°11.1.1. Análisis nitrógeno coagulable cocimiento N°3222.....	58
Tabla N°11.2. Análisis FAN cocimiento N°3222.	58
Tabla N°11.3. Análisis TBZ cocimiento N°3222.....	58
Tabla N°11.4. Análisis amargor cocimiento N°3222.	59
Tabla N°11.5. Diferentes análisis cocimiento N°3222.....	59
Tabla N°11.6. Análisis yodo cocimiento N°3222.....	60
Tabla N°11.7. Análisis calcio cocimiento N°3222.	60
Tabla N°12.1. Análisis nitrógeno total cocimiento N°3285.	61
Tabla N°12.1.1. Análisis nitrógeno coagulable cocimiento N°3285.....	61
Tabla N°12.2. Análisis FAN cocimiento N°3285.	62
Tabla N°12.3. Análisis TBZ cocimiento N°3285.....	62
Tabla N°12.4. Análisis amargor cocimiento N°3285.	62
Tabla N°12.5. Diferentes análisis cocimiento N°3285.....	63
Tabla N°12.6. Análisis yodo cocimiento N°3285.....	63
Tabla N°12.7. Análisis calcio cocimiento N°3285.	63
Tabla N°13.1. Análisis nitrógeno total cocimiento N°3404.	64
Tabla N°13.1.1. Análisis nitrógeno coagulable cocimiento N°3404.....	65
Tabla N°13.2. Análisis FAN cocimiento N°3404.	65
Tabla N°13.3. Análisis TBZ cocimiento N°3404.....	65

Tabla N°13.4. Análisis amargor cocimiento N°3404.	66
Tabla N°13.5. Diferentes análisis cocimiento N°3404.	66
Tabla N°13.6. Análisis yodo cocimiento N°3404.	66
Tabla N°13.7. Análisis calcio cocimiento N°3404.	67
Tabla N°14.1. Análisis DMS total cocimiento N°3950.	68
Tabla N°14.2. Análisis DMS libre cocimiento N°3950.	68
Tabla N°14.3. Análisis DMS precursor cocimiento N°3950.	68
Tabla N°15.1. Análisis DMS total cocimiento N°3952.	68
Tabla N°15.2. Análisis DMS libre cocimiento N°3952.	69
Tabla N°15.3. Análisis DMS precursor cocimiento N°3952.	69
Tabla N°16.1. Análisis DMS total cocimiento N°3963.	69
Tabla N°16.2. Análisis DMS libre cocimiento N°3963.	69
Tabla N°16.3. Análisis DMS precursor cocimiento N°3963.	69
Tabla N°17. Receta cocedor modificada.	71
Tabla N°18.1. Análisis DMS total cocimiento N°4012.	71
Tabla N°18.2. Análisis DMS libre cocimiento N°4012.	71
Tabla N°18.3. Análisis DMS precursor cocimiento N°4012.	71
Tabla N°18.4. Consumo de vapor por pasos en una primera prueba.	72
Tabla N°19.1. Análisis DMS total cocimiento N°4033.	72
Tabla N°19.2. Análisis DMS libre cocimiento N°4033.	73
Tabla N°19.3. Análisis DMS precursor cocimiento N°4033.	73
Tabla N°20. Receta cocedor con disminución del consumo vapor.	74
Tabla N°21. Resultados del DMS y TBZ con disminución de vapor.	75
Tabla N°22. Tiempo y temperatura ensayo “Rolph”.	77
Tabla N°23. Consumo de vapor en los cocimientos de ensayo “Rolph”.	78
Tabla N°24. DMS en los cocimientos del ensayo “Rolph”.	78
Tabla N°25. Nitrógeno de los cocimientos del ensayo “Rolph”.	78
Tabla N°26. FAN, TBZ, volumen, °P, pH y evaporación en los cocimientos ensayo “Rolph”.	79
Tabla N°27. Proceso de fermentación ensayo “Rolph”.	80
Tabla N°28. Indicación del estanque de reposo.	81
Tabla N°29. Resultado del análisis de reposo.	81
Tabla N°30. Indicación de la filtración de la cerveza.	82
Tabla N°31. Resultado del análisis de filtración.	82
Tabla N°32. Indicación del envasado de cerveza.	83
Tabla N°33. Resultado del análisis de cerveza inicio de envasado.	83
Tabla N°34. Resultados microbiológicos de la cerveza.	83
Tabla N°35. Costo directo de producción de vapor.	100
Tabla N°36. Concentración de mosto con su respectiva densidad a 1 ATM.	107
Tabla N°37. Calor específico del agua entre 0°C y 100°C a 1 ATM.	108
Tabla N°38. Densidad agua líquida entre 0°C y 100°C a 1 ATM.	109
Tabla N°39. Propiedades del agua saturada.	110
Tabla N°40. Características y condiciones de trabajo del calmo.	111

1. Introducción

La historia de la cerveza se basa en las antiguas civilizaciones que poblaron el mundo. Nadie conoce realmente la verdadera historia del descubrimiento de la cerveza, se podría contar que: "Hace miles de años accidentalmente se dejó a la intemperie el grano para hacer pan, sin saberlo la humedad causó que el grano germinara y el hombre lo molió para hacer su alimento, sin embargo por alguna razón, esta mezcla fue olvidada por algunos días, al volver a terminar su trabajo en la realización del pan, se observó que éste se había separado, en una masa y un líquido, el cual era bueno y daba una sensación de bienestar al probarlo." Lo que se realiza hoy en día es básicamente lo mismo, se muele un cereal germinado, para luego mezclarlo con agua. Este líquido es filtrado para cocerlo, momento en el cual se le agrega lúpulo y posteriormente se añade la levadura para que fermenten los azúcares y se consiga el alcohol necesario. El principio es el mismo en todas las cerveceras, donde las materias primas básicas son el agua, el cereal, el lúpulo y la levadura. La cerveza es una bebida que se obtiene mediante diferentes técnicas y procedimientos, las cervezas más destacadas son: Ale, Lager o Pilsen, Blanca, Stout.

La cerveza está elaborada con una gran cantidad de agua, lo que resulta una buena forma de colaborar con el consumo diario del ser humano, el cual se encuentra entre 2 a 3 litros diarios, pero desfavorablemente el agua que contiene la cerveza en combinación con los minerales disueltos, el dióxido de carbono (CO_2), y la temperatura fría de ésta, calman la sed haciendo que el consumidor deje de beber líquido. La cerveza tiene un gran efecto diurético, la causa se la debemos a los componentes del lúpulo y las sales de potasio. Esta diuresis a veces puede sentirse con alguna molestia. Los urólogos aprovechan esta característica de la cerveza, para el "lavado" de los riñones y para la purga de cálculos renales. El alcohol es absorbido directamente por el cuerpo y convertido en energía. Con el efecto de reducidas cantidades de alcohol, se va eliminando progresivamente la inhibición psicológica de las personas, sintiendo algún bienestar, una mayor locuacidad, haciéndose la persona más sociable, además tienen un efecto tranquilizador luego de un breve tiempo, no causa cansancio, sino que relaja y elimina tensiones nerviosas. Cantidades mayores de alcohol conducen a la embriaguez, ante la cual cada persona reacciona de forma distinta.

La producción de la cerveza como muchos procesos productivos, requiere la utilización eficiente de la energía y como en cualquier ámbito industrial resulta relevante, ya que la cantidad de combustible utilizado, impacta negativamente en el costo de producción y en el medio ambiente, se propone disminuir la carga térmica en el cocedor de mosto, sin que la

calidad de la cerveza se vea afectada, para disminuir los costos de producción del producto final y de paso ayudar al medio ambiente.

1.1. Antecedentes de la empresa

La Compañía Cervecerías Unidas (CCU) se encuentra ubicada en Avenida Presidente Eduardo Frei Montalva 8000, Quilicura, Santiago de Chile y es la principal productora y comercializadora de cerveza en Chile. Desarrolla, además, la embotellación y distribución de bebidas analcohólicas como por ejemplo, agua mineral y néctares; la producción, distribución y exportación de vino desde febrero de 2003, la producción y comercialización de pisco. En el campo internacional participa como uno de los principales productores y comercializadores de cerveza en Argentina. Sus principales ingresos provienen de la producción y comercialización de cerveza en Chile, la venta de bebidas analcohólicas, embotellación de agua mineral y néctares. En Chile, CCU mantiene una participación relevante en los distintos mercados en que participa: 89% en cervezas, cerca del 23% en bebidas analcohólicas y del orden de 62% en agua mineral. A través de Inversiones y Rentas, participan en la propiedad de CCU los grupos Luksic (Quiñenco) y el conglomerado holandés Heineken, uno de los mayores cerveceros a nivel mundial [1].

Su liderazgo en el mercado de cervezas en Chile, la eficiente comercialización y distribución de sus productos la ubican entre las cerveceras más importantes de América Latina. Cervecera CCU Chile produce, comercializa y distribuye las marcas nacionales Cristal, Cristal CERO 0°, Escudo, Royal Guard, Morenita, Dorada, Lemon Stones, Austral y Kunstmann. También empresas internacionales han confiado en la excelencia de producción de CCU Chile otorgando licencias para la elaboración de marcas, entre las que se cuentan Heineken, Paulaner, además de importar Budweiser.

1.2. Problema a resolver

Disminuir el consumo de vapor en los cocedores de mosto, sin que la calidad de la cerveza sea afectada, para reducir los costos de producción de éste producto.

1.3. Fundamento de la memoria

El consumo de combustible afecta negativamente el precio del producto final y también tiene una repercusión negativa sobre el medio ambiente, para dar solución a éstos problemas, en la presente memoria se pretende disminuir el consumo de vapor en los cocedores de mosto, sin que el producto final se vea afectado y para esto se tomaron en cuenta dos factores importantes:

Factor 1: La evaporación total que se tiene en el cocedor de mosto es de alrededor de un 5%, valor que se encuentra elevado ya que el fabricante del cocedor de mosto (Stromboli) menciona que debe estar en un promedio de 4%, quiere decir con esto, que existe una mayor evaporación, por ende se consume mayor cantidad de vapor en los cocedor de mosto, aumentando los gastos en la sala de caldera.

Factor 2: Una vez alcanzada la etapa de ebullición (98°C) del cocedor de mosto, ésta se demora alrededor de 10 minutos más en esta etapa de lo establecido en los protocolos cerveceros internacionales, según información recibida en sala de elaboración de cerveza.

Estos dos factores existen por la programación entregada por receta, la cual cuando se determinó el caldo madre cuatro (CM 4) se estipuló que una vez alcanzada la temperatura de ebullición, el cocedor de mosto debe consumir 3200 kg de vapor en la etapa de ebullición para que el mosto sea cocido, no obstante no se tienen antecedentes de cuál es la cantidad necesaria de kg de vapor que se necesitan para que el mosto esté cocido. Se presume que el mosto no es necesario tenerlo a una ebullición vigorosa para que cumpla con las exigencias necesarias para las siguientes etapas de la elaboración de la cerveza, ya que una vez alcanzada la temperatura de ebullición, sólo queda mantener el mosto con esa temperatura y no seguir gastando más vapor de lo necesario.

Se propone disminuir una cantidad de kg de vapor en el cocedor de mosto una vez alcanzada la temperatura de ebullición, teniendo siempre en consideración mantener el mosto a su temperatura de ebullición, esto ayudará a disminuir la tasa de evaporación y al tener un menor consumo de vapor, bajará el tiempo total de cocción. Para esto se realizarán diferentes pruebas, que gracias a sus resultados permitirán realizar un ensayo de tres cocimientos consecutivos para la fermentación del mismo estanque y posteriormente su filtrado.

1.4. Situación actual de cocimiento

Una vez filtrado el mosto es pasado por un intercambiador de calor que permite aumentar la temperatura del mosto hasta los 92°C, según las indicaciones del fabricante. En el momento de empezar mi memoria, el intercambiador de calor podía aumentar la temperatura del mosto hasta los 90°C solamente debido a un problema técnico que se explicará más adelante.

Teóricamente se debería tener un volumen total de 760 hl en el cocedor, para tener un 4% de evaporación y conseguir 729 hl a la salida del cocedor y posteriormente se lleva el mosto a la enfriadera donde se consigue una disminución del volumen de un 4% por la contracción que sufre el mosto por el cambio de temperatura que baja de 97 a 12°C, consiguiendo los 700 hl con 16,5°P y con un ph que puede estar entre 5,0-5,3. Lo que se tiene en la realidad son 780 hl de mosto entrando al cocedor con una evaporación superior a los 4% y una disminución de la concentración a la salida de la enfriadera.

La cocción del mosto se realiza con una cantidad de 3200 kg de vapor y con alrededor de 10 minutos adicionales sobre según diferentes compañías cervecera en el mundo.

1.5. Objetivos de la memoria

1.5.1. Objetivo general

- Proponer un mecanismo de ahorro de energía en la etapa de cocimiento, considerando la calidad del mosto.

1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar el sistema de recuperación de energía.
- Analizar el impacto del cambio de las recetas en el consumo de energía.

1.6. Plan de trabajo

Se estudiarán las tres etapas de elaboración de la cerveza, cocimiento, fermentación y filtrado, poniendo énfasis en la fase de cocimiento, especialmente en el cocedor de mosto y en

la recuperación de energía de éste. Una vez estudiada la elaboración de la cerveza, se realiza un estudio retrospectivo sobre una semana de cocimiento, donde se corroboran los datos entregados en el fundamento de esta memoria. No obstante, también se aprovecha la opción para analizar los diferentes parámetros que el mosto debe cumplir para ser fermentado, donde hay que tener presente el propósito de cada análisis y los materiales que se incurrirán. Una vez conseguida una tasa de evaporación total superior al 4% y un exceso en el tiempo de ebullición, se me permite realizar diferentes pruebas de ahorro de energía en el cocedor de mosto. Antes de realizar cualquier prueba, es necesario saber y demostrar que está ocurriendo en el cocedor de mosto, identificar el resultado de cada compuesto que interviene en el cocedor, para todo esto se realiza un análisis general al cocedor de mosto, que consta de tres muestras para el mismo cocimiento:

Muestra N°1: el mosto es analizado antes que entre al cocedor.

Muestra N°2: el mosto es analizado después del cocedor.

Muestra N°3: el mosto es analizado a la salida de la enfriadera para ser fermentado (habitual).

Con las comparaciones entre las muestra N°1 y N°2 se puede saber qué cambios está produciendo el cocedor sobre el mosto. Con la muestra N°3 se puede obtener el cambio del mosto que se produce en el whirlpool y en la salida de enfriadera.

Se analizan muestras de mostos a la salida de la enfriadera sin ninguna intervención, para tener los primeros antecedentes de calidad del mosto, para posteriormente realizar una distribución de los flujos de vapor en la etapa de ebullición consumiendo la misma cantidad de vapor.

Permiten realizar un pequeño ajuste en la receta de un cocimiento, reduciendo el consumo de vapor en la etapa de ebullición de 3200 kg de vapor a tan sólo 2700 kg de vapor. Luego se realiza un análisis completo del mosto a la salida de la enfriadera y se comparan los análisis de otros cocimientos sin reducción de vapor como también con las muestras N°3, observando cambios mínimos en la comparación. Luego se repiten otras pruebas con la misma reducción de vapor. Cabe mencionar que este cocimiento, por seguridad y para disminuir posibles errores de producción de mosto ya que tiene una reducción en el consumo de vapor en el cocedor, es mezclado con otros seis cocimientos más en un UT de fermentación y así reducir posibles anomalías en la fermentación y en todo el proceso de elaboración de la cerveza.

Por último se realiza un ensayo completo de tres cocimientos consecutivos, donde se tiene la misma reducción de vapor en el cocedor de mosto de 3200 a 2700 kg de vapor, pero ahora los tres cocimientos se fermentaran y se filtraran por separado.

2. Elaboración de cerveza en CCU Chile S.A.

El proceso principal en la elaboración de cerveza es la fermentación de la azúcar contenida en el mosto, para obtener alcohol y dióxido de carbono. A los efectos de crear las condiciones para ello, es necesario convertir con ayuda de algunas enzimas formadas y agregadas al proceso, los componentes principalmente insolubles de la cebada malteada (malta) en azúcares fermentables. La conversión y disolución de estos componentes es el propósito de la fabricación del mosto. Con esto se logra el punto de partida para la fermentación del mosto en la bodega de fermentación y maduración.

El proceso de elaboración de cerveza en CCU Chile, consta de tres etapas fundamentales, las cuales son: cocimiento, fermentación y filtrado. Una vez terminado con el filtrado, la cerveza es envasada en sus diferentes envases según la demanda que se tenga por el mercado, para posteriormente despacharla a los distintos puntos de venta (supermercados, botillerías, restaurantes, pubs, etc.). En la figura N°1 se muestran algunos de los envases de cerveza de CCU.

Este trabajo trata sobre la carga térmica del mosto y se pondrá énfasis en la etapa de cocimiento, sobre todo en los cocedores de mosto.



Figura N°1. Diferentes tipos de envases de posee CCU.

2.1. Materias primas fundamentales

Para la fabricación de cerveza se necesitan cuatro ingredientes fundamentales: la cebada, el lúpulo, el agua y la levadura. Existe la posibilidad de ocupar otro cereal como adjunto a la malta. La calidad de estos ingredientes tiene una influencia decisiva sobre la calidad de la cerveza. La utilización de la cebada se basa en el hecho de que tiene un alto contenido de almidón y que la cáscara sigue adherida al grano después de la trilla y de haber sido procesada para ser transformada en malta. El lúpulo le da el sabor amargo a la cerveza y tiene influencia sobre su aroma. La mayor porción de la cerveza es agua, por esta razón se necesita en abundancia y de diferentes calidades, ya sea, agua potable, agua blanda y agua cervecera. Gracias a la levadura existe una fermentación alcohólica necesaria para transformar el azúcar en alcohol y dióxido de carbono [1]. A continuación se explicará más detalladamente cada uno de los principales componentes de la cerveza.

2.1.1. Cebada: La cebada suministra el almidón necesario, el cual en la sala de cocimiento es transformado en azúcares fermentables. En la calidad de la cebada influyen las condiciones en las cuales se obtiene como: el clima, el suelo, los abonos, el sistema de cultivo y el procedimiento de recolección.

En la figura N°2 se ve la cebada plantada, lista para cosechar, pero aún no se puede ocupar en la elaboración de cerveza (para la cerveza elaborada en CCU). Para ello se debe someter a la cebada a un proceso de malteado, el cual consiste en la transformación controlada de grano a través de la germinación y el tostado. De esta forma se activan las enzimas contenidas en ella, con la finalidad de prepararlas para el proceso de maceración.



Figura N°2. Cebada plantada.

En la figura N°3 se observa un grano de cebada de tal forma que se diferencian cinco zonas principales:

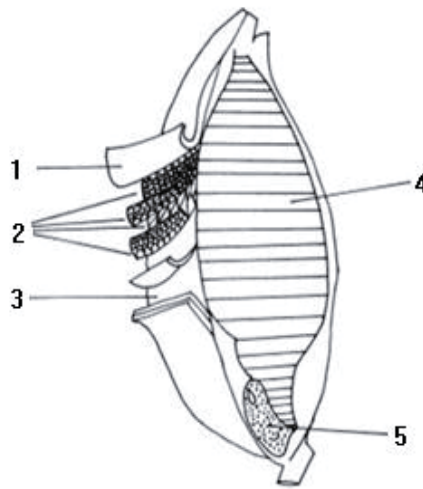


Figura N°3. Grano de cebada con un corte longitudinal.

Zona 1: Es la cáscara protectora, contiene glucanasa, proteínas, resinas amargas y taninos.

Zona 2: Capa del fruto (pericarpio), capas de semilla interior y exterior (testa) son semipermeables, cubren todo el grano y contiene lípidos.

Zona 3: Esta capa se llama aleurona y contiene enzimas y lípidos.

Zona 4: Se llama endospermo, es la estructura más importante de la cebada y constituye la mayor parte del grano. Su principal componente es el almidón. Los gránulos de almidón se encuentran rodeados con una matriz proteica. El almidón está constituido por dos compuestos: la amilosa que tiene estructura lineal y la amilopectina de estructura ramificada. Un 30% del almidón está formado por amilosa y se considera que el 70% restante lo ocupa la amilopectina.

Zona 5: Se llama germen y es la parte del grano donde se produce la mayor absorción de agua. Es una estructura viva que contiene una gran cantidad de proteínas y ácidos nucleicos. Durante la germinación, las reservas alimenticias del endospermo son utilizadas para el crecimiento.

La cebada al ser un producto orgánico nunca es la misma, por esto es importante saber la composición de ésta. La cantidad de agua es de un 14 a 15% en promedio. Puede variar de 12% en una cosecha muy seca y un 20% en una cosecha muy húmeda. La cebada muy húmeda corre un riesgo, en lo que respecta a su capacidad de almacenamiento y de

germinación, y debe ser secada. La cebada apta para el almacenamiento debe tener un contenido menor a un 15% de agua. El contenido restante se denomina materia seca la cual está conformada por hidratos de carbono, proteínas, minerales, grasas y otras sustancias.

2.1.2. Lúpulo: El lúpulo es una planta trepadora que pertenece al grupo de las urticáceas y la familia cannabáceas (figura N°4). Los componentes principales del lúpulo son: los alfa-ácidos, beta-ácidos, resinas y aceites esenciales. En la fabricación de cerveza se utilizan únicamente las inflorescencias de las plantas femeninas, éstas contienen las resinas amargas y los aceites etéreos que le suministran a la cerveza los componentes amargos y aromáticos. Dicho de otra forma el lúpulo es un estróbilo seco de la planta de lúpulo femenina.

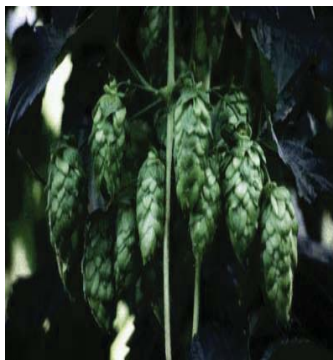


Figura N°4. Planta de lúpulo.

Durante el proceso de cocción, el aceite de lúpulo se volatiliza de forma progresiva. Es por esto que la adición del lúpulo dependerá de cada cervecera, dependiendo del tipo de cerveza que se está fabricando (se adiciona más tardíamente el lúpulo en la cocción para tener al menos una conservación del aceite de lúpulo aromático). La composición del lúpulo tiene una gran influencia en la calidad de la cerveza.

2.1.3. Agua: Cuantitativamente, el agua es la mayor porción de materia prima usada para la fabricación de cerveza, sin embargo, solamente una parte de la cantidad de agua requerida es usada directamente en la cerveza, mientras que otra parte se requiere para limpieza, enjuague y otros propósitos. La obtención y el tratamiento del agua son de particular importancia para el cervecero, dado que la calidad de la cerveza también depende de la calidad del agua.

El consumo total de agua varía ampliamente dependiendo de la forma racional como se use y de las recuperaciones que se lleven a cabo. En cervecería el valor del consumo de agua total es de aproximadamente 10 hl/hl de cerveza envasada. Dentro de la empresa se distinguen

tres tipos de aguas diferentes: el agua potable (consumo humano, casino, baños, riego, etc.), el agua blanda (utilizada para disminuir las incrustaciones en las calderas, intercambiadores de calor y todo equipo que tenga contacto con el agua) y el agua cervecera (que se utiliza en la elaboración de la cerveza).

2.1.4. Levadura: Es un microorganismo de una sola célula, que tiene en promedio 75% de agua. En la figura N°5 se muestra la estructura de una levadura la cual está envuelta por una membrana exterior denominada pared celular. La membrana celular permite, al ser semipermeable, la entrada de nutrientes y sustancias disueltas en el agua, siendo evacuados el CO₂ y el alcohol. La membrana celular regula mediante procesos osmóticos, la igualdad entre el medio intracelular y extracelular. La presión osmótica es proporcional al número de moléculas disueltas en el agua, así pues cuanto mayor sea el contenido en azúcar, la cantidad de agua de la disolución es menor, aumentando la presión osmótica. Esto explica por qué cuando en la formulación del mosto el contenido en azúcar es alto, la actividad fermentativa queda reducida.

El citoplasma es la parte fundamental de la levadura (célula) y contiene:

- Un núcleo donde se encuentran los cromosomas (determinante de las propiedades hereditarias).
- Vacuolas donde se encuentran las reservas de grasas.
- Mitocondrias que permiten el abastecimiento de energía a la célula.
- Ribosomas donde se elaboran proteínas.

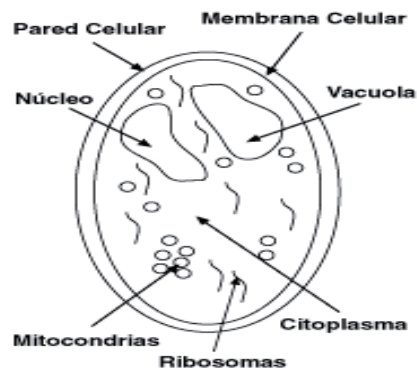


Figura N°5. Estructura de una levadura.

La reproducción de las levaduras se desarrolla de dos formas: asexual a través de gemación y por reproducción sexual. La reproducción por gemación es la forma más común y es un proceso en el cual la llamada célula madre desarrolla una pequeña ampolla que va aumentando de volumen hasta separarse convirtiéndose en una célula hija (un sola célula de levadura puede generar 25 células hijas). En la figura N°6 se muestra la reproducción por gemación. La reproducción sexual sucede cuando dos células de distinto sexo se han separado de su progenitora, se unen, procrean y se vuelven a separar.

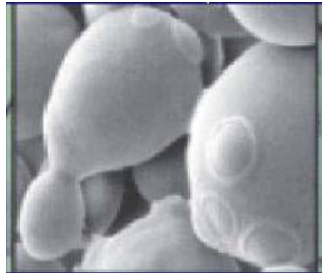
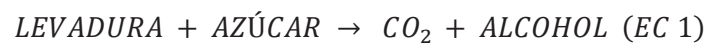


Figura N°6. Reproducción de una levadura.

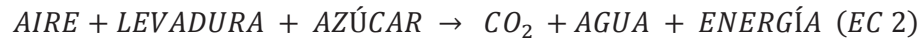
La levadura cervecera tiene dos formas de vida, según el medio en el que se encuentre: puede vivir en ausencia de aire (anaeróbicos) o en presencia del aire (aeróbicos).

La fermentación de la levadura se puede dividir en dos reacciones: la fermentación propiamente tal y la reacción de respiración, pero éstas se solapan entre sí. Cuando la levadura dispone de poco oxígeno, como cuando se encuentra en el mosto, utiliza los

azúcares para producir la energía necesaria para el mantenimiento de su vida, provocando una reacción en cadena denominada “fermentación”, en el curso de la cual los azúcares son transformados en alcohol y dióxido de carbono (CO₂). Esta reacción se puede observar en la siguiente ecuación.



Cuando la levadura se encuentra en presencia de aire (oxígeno) se produce la oxigenación de los azúcares transformándolos en masa celular, agua, CO₂ y la energía necesaria para la vida y desarrollo de las levaduras. Esta reacción se denomina “respiración” la cual se observa en la siguiente ecuación.



2.1.5. Adjunto (arroz): Las materias primas auxiliares o adjuntos tienen importancia en la fabricación de cervezas claras por su almidón, lo mismo que el almidón de la cebada, pero contribuyen poco al color, sabor, aroma y contenido de proteínas. Se ocupa en la elaboración de cerveza por su bajo costo en comparación con la malta. En este caso, el arroz es una muy buena fuente de almidón, por ende es muy rico en extracto. En cervecerías se emplea principalmente el griz de maíz, puntas de arroz, y/o cebada sin germinar, pudiéndose emplear también sorgo y trigo. En CCU Chile se ocupan las puntas de arroz como adjunto.

2.2. Proceso de Cocimiento

En la etapa de cocimiento se consigue una transformación del almidón (extracto) de la cebada malteada (malta) en un azúcar fermentable. Existen diferentes recetas para las distintas marcas (pinta) en producción. Estas recetas son conocidas como los caldo madre (CM). Existen algunas pintas que ocupan el mismo CM, pero varían levemente en algunos procesos. En la tabla N°1 se muestran los diferentes CM y sus respectivas pintas.

Caldo madre	Pinta
4	Cristal-Escudo-Dorada-Malta M.
6	Paulaner
7	Lemon Stone-Royal Guard-Austral
8	Heineken

Tabla N°1. Caldos madres y sus pintas.

En esta memoria de titulación se trabajó sobre el CM4 y a continuación se muestra el siguiente diagrama de flujo representado en la figura N°7

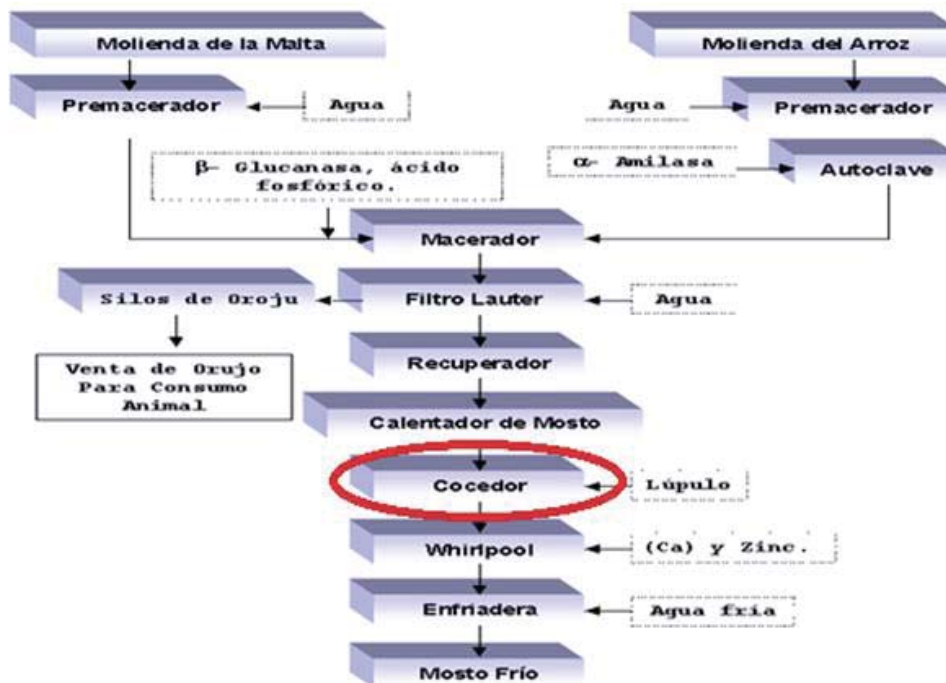


Figura N°7. Diagrama de bloque de la etapa de cocimiento (CM4).

Las diferencias de los CM es la utilización de un cereal como adjunto. Como se propuso trabajar con el CM4 tendremos que considerar el arroz como adjunto. También existe una diferencia entre las líneas de producción como se muestra en la tabla N°2.

Línea de producción	Molienda malta	Filtrado
N°1	Martillo	Meura
N°2 y N°3	Rodillo	Lauter

Tabla N°2. Diferencias entre las líneas de producción.

2.2.1. Recepción de malta: Todo el proceso cervecero empieza con la llegada de los vagones de trenes cargados de malta, los cuales tienen un sistema de descarga por gravedad. En la figura N°8 se observa cómo se abre la compuerta inferior del vagón haciendo que la malta pase por una rejilla, permitiendo una descarga controlada hacia las bodegas, para luego, por un sistema coordinado de redler, alimentar con malta el elevador para llevar la malta a la parte superior del edificio de recepción de malta, donde por gravedad la malta se baja pasado por una limpiadora (se elimina gran cantidad de polvo, el cual se ensaca para retirarlo del proceso de elaboración), para su posterior ensilado.



Figura N°8. Descarga de los vagones cargados de malta, hacia las bodegas.

2.2.2. Molienda de malta: Antes que la malta pase por los molinos, tiene una preparación de carga que consiste en eliminar toda partícula existente que perjudique el proceso, como piedra, grano partido, polvo, etc. Esta preparación de carga consta de una limpiadora, despiedradora, una romana de golpes para controlar la cantidad de kilogramos por cada cocimiento, además se encuentran una serie de redler, elevadores, esclusas, etc. Una vez que se ha conseguido la preparación de carga la malta se encuentra en condiciones de ser molida. La molienda tiene por objeto triturar la malta para que exista una mayor transferencia de contacto del grano con el

agua, facilitando el proceso de maceración. Existen dos tipos de molienda, la cual dependerá del filtro de mosto que se requiera ocupar.

Molienda seca, línea N°1 de producción. Consiste en un molino de martillo, que funciona de forma seca, sin ningún contacto con agua. Este tipo de molienda permite conseguir una trituración prácticamente total de la malta, transformándola en una harinilla fina. Posteriormente esta harinilla es pasada por un equipo llamado pre-macerador, el cual tiene la función de hidratar la malta para luego pasarla al macerador. En la figura N°9 se puede ver un pre-macerador, con sus principales entradas de compuestos y su producto final, que es un puré de malta hacia un proceso de maceración.

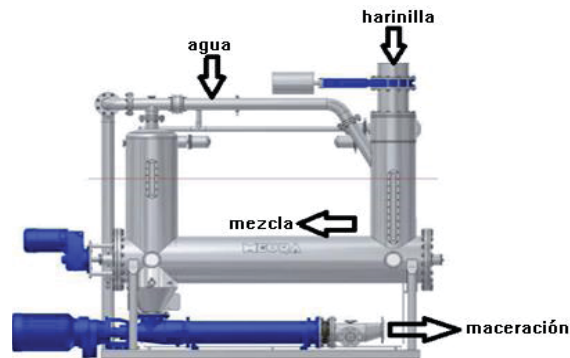


Figura N°9. Pre-macerador de malta.

El pre-macerador consiste en un estanque cilíndrico horizontal central y con un dispositivo de mezcla. A este estanque se le proporciona malta molida y agua (lo ideal con una temperatura de 48°C) a través de un anillo hidratador, que asegura una mezcla preliminar eficiente. La masa es entonces mezclada en el estanque horizontal y transportado a una zona de amortiguamiento, antes de ser suavemente trasladado por una bomba de tornillo girando a velocidad muy baja hacia la maceración. El estanque horizontal se mantiene lleno durante toda la operación de mezclado, con el fin de reducir el área de contacto del aire con la malta. Opcionalmente, el pre-macerador puede ser pre-llenado con un gas inerte para un funcionamiento totalmente libre de oxígeno.

Molienda húmeda, línea N°2 y N°3 de producción: Consiste en un molino de rodillos llamado Variomill, con una trituración húmeda para dejar tan entera la malta como sea posible, para formar el lecho filtrante en los filtros Lauter.

El molino de martillo como Variomill tiene su propia tolva de recepción. Estos molinos se pueden colocar en funcionamiento, cuando la tolva de grano que se encuentra sobre el molino marque una cantidad mínima en kg gracias a una romana que tiene incorporada. Esto ayuda a agilizar el proceso de molienda, ya que con este mínimo se asegura que los molinos no se detendrán por falta de materia prima, porque con ese valor dan el tiempo suficiente para completar la carga de malta requerida.

2.2.3. Recepción de arroz: Tiene un sistema parecido a la recepción de malta, llegan los vagones del tren, luego se descarga en la bodega por gravedad. Con un sistema de redler este arroz es sacado de la bodega y es elevado al edificio de arroz, donde por gravedad baja para ser limpiado. Una vez limpio es ensilado para su posterior molienda.

2.2.4. Molienda de arroz: El arroz tiene una molienda seca lo cual permite transformar el arroz a sémola de arroz, con esta transformación se permite tener un grano más pequeño, teniendo en la autoclave una mejor transferencia de masa entre la sémola de arroz y el agua.

2.2.5. Autoclave: Es un estanque de acero inoxidable (figura N°10) con agitación mecánica y con calentamiento a través de una chaqueta por la cual circula vapor. Este equipo está diseñado para poder trabajar con presión, permitiendo obtener temperaturas superiores a la ebullición del agua a presión atmosférica.

Una vez terminado el proceso del arroz en el autoclave se le agrega al macerador, para que este realice el proceso de maceración según la receta que corresponda. Cada cervecería utiliza el sistema de maceración que más le conviene según las materias primas y los equipos de que se dispone, y según la cerveza que se desea elaborar. Para lograr esto se busca favorecer determinadas reacciones enzimáticas dejando la mezcla a determinadas temperaturas durante algún tiempo.



Figura N°10. Autoclave.

2.2.6. Macerador: El macerador es actualmente un estanque de acero inoxidable (antiguamente estos recipientes eran de cobre), como se aprecia en la figura N°11. Dentro de su interior posee una agitación mecánica a través de unas paletas giratorias, también contiene un sistema de calentamiento a través de una chaqueta de vapor. En la parte superior cuenta con una chimenea para la liberación de los vapores producidos. La maceración es uno de los procesos más importantes en la fabricación del mosto, donde la molienda tanto de la malta como del arroz y más el agua son mezcladas entre sí. Los componentes de la malta entran así en solución y con ayuda de las enzimas, se obtiene el extracto. Las transformaciones durante la maceración tienen una importancia decisiva, sólo una parte de la molienda es soluble, es por esto necesario que las sustancias insolubles de la molienda sean convertidas en sustancias solubles durante la maceración. Son solubles los azúcares, las dextrinas, las sustancias minerales y determinadas proteínas, son insolubles el almidón, la celulosa, algunas proteínas de alto peso molecular y otros compuestos que quedan como desperdicio después del filtrado.



Figura N°11. Macerador.

Por motivos económicos, se trata de convertir en soluble la mayor cantidad posible de compuestos insolubles. Es decir, formar mucho extracto, en lo posible. Esto se manifestará en el rendimiento de la sala de cocimiento.

Como se mencionó anteriormente, las enzimas cumplen una función importante durante el proceso de maceración, una de las funciones más importantes de las enzimas, es su actividad en la disociación de los sustratos y éstas dependen de varios factores:

Temperatura: La actividad de las enzimas depende en primer lugar de la temperatura. La actividad enzimática crece cuando aumenta la temperatura, alcanzando un valor óptimo específico para cada enzima en particular. A mayores temperaturas de las óptimas, las enzimas empiezan a inactivarse rápidamente debido a un desdoblamiento en su cadena estructural. La inactivación y eliminación de la actividad enzimática es tanto mayor cuanto más exceda la temperatura óptima. Las enzimas trabajan también a menor temperatura de la óptima, pero entonces su actividad es notablemente más lenta.

pH: Dado que la estructura tridimensional de las enzimas se modifica también en dependencia del valor pH, la actividad enzimática alcanza un valor óptimo con un valor pH, que es específico para cada enzima y disminuye con mayores y menores valores de pH. La influencia del valor pH sobre la actividad enzimática no es, por lo general, tan grande como la influencia de la temperatura.

2.2.7. Filtración del mosto: El proceso de filtración es la separación del mosto del orujo, lo cual ocurre en varias fases según el tipo de filtro que se esté ocupando. Al final del proceso de maceración, el macerado está compuesto de una mezcla acuosa de sustancias disueltas y material sólido sin solubilizarse. La solución acuosa se denomina mosto y las partes no disueltas orujo. Los sólidos solubles presentes en el mosto y los que pueden aún solubilizarse por el proceso de filtración, constituyen el extracto. El orujo está compuesto esencialmente por las cáscaras y otras sustancias que no entraron en solución durante la maceración las cuales son el material principal para formar el lecho filtrante, independiente del filtro que se ocupe, ya sea filtro Lauter o filtro prensa.

Para la elaboración de cerveza se ocupa solamente el mosto, el cual debe ser separado del orujo, este proceso de separación se llama filtración del mosto. El extracto debe ser recuperado en lo posible de forma total, pero esto no ocurre porque al extraer prácticamente

todo el extracto también se extrae material indeseable, como por ejemplo taninos que perjudican principalmente la cerveza, además al agregar más agua se tendrá un mosto más diluido y se tendrá que gastar más vapor en el cocedor de mosto para obtener una mayor evaporación y de esta forma tener un mosto más concentrado. Es por esto que se permite una pérdida de 1 a 3% de extracto en la filtración.

El proceso puede realizarse con diferentes tipos de filtros de los cuales uno de los más utilizados es el filtro Lauter, pero por eficiencia y rapidez, el filtro prensa se está abriendo camino en el filtrado del mosto.

El proceso de filtrado en el Lauter ocurre en tres fases, el primer mosto propiamente tal, el agua de lavado y la última agua de lavado (UADL).

Filtro Lauter: La cuba de filtración, como se muestra en la figura N°12, tiene una estructura exterior similar a un macerador, con una chimenea donde sale el vapor del mosto (recordar que el mosto sale del macerador a una temperatura de 78°C). Por dentro el filtro contiene en su fondo una malla metálica que retiene el orujo, también posee, como se muestra en la figura N°13, un sistema de paletas giratorias con cuchillo incorporado para evitar que el queque (orujo) se comprima. La filtración puede durar de 2 a 3 horas. En los 50 minutos finales se efectúa un lavado con una solución de ácido fosfórico que tiene por finalidad extraer los azúcares retenidos en el queque y no permitir la disolución de compuestos taninos o polifenoles.

Una vez terminado con el lavado del orujo, se aplica el UADL, la cual permite seguir extrayendo extracto del orujo con una menor concentración de extracto, el UADL no es conveniente que pase a cocción, porque se originaría un cocimiento con un mayor volumen y gasto energético para lograr la concentración del mosto requerida. El UADL es posteriormente requerido en las autoclaves, con éste se consigue ahorrar una gran cantidad de arroz gracias a la utilización de un agua rica en extracto.



Figura N°12. Imagen exterior filtro Lauter.



Figura N°13. Imagen interior filtro Lauter.

Filtro prensa: El filtro prensa como se muestra en la figura N°14, consta principalmente de un estanque filtrador donde llega el mosto filtrado para luego enviarlo al estanque de espera, un escudo fijo que contiene las placas y un escudo móvil que cierra este paquete (gran cantidad de placas) a través de un cilindro pistón (sistema hidráulico), también contiene un sistema de aire comprimido donde, antes de recibir el mosto para filtrar, las membranas de las placas son expandidas y de esta forma se mantiene una cierta presión dentro de la membrana para que se produzca la filtración. El filtro prensa tiene la particularidad de que, si es necesario aumentar la cantidad de mosto a filtrar, se pueden agregar unas cuantas placas y de esta forma aumentar el área de filtración. En comparación con la cuba de filtración, el filtro prensa es más rápido, se puede filtrar mostos más densos, entrega un orujo con una menor humedad, exprime mejor el orujo y no tiene UADL.

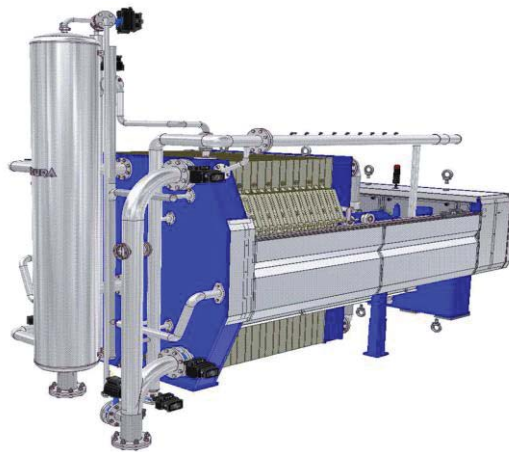


Figura N°14. Estructura del filtro prensa Meura.

El proceso ocurre en dos fases, el primer mosto y el agua de lavado.

Primer mosto: Existe una cantidad determinada del primer mosto en el cual se obtiene un mosto bastante concentrado, que se va diluyendo con el transcurso de la filtración, el primer mosto debe estar alrededor de un 40-50% del volumen total de la filtración.

Agua de lavado: Una vez terminado el volumen del primer mosto, se agrega el agua de lavado cumpliendo con el total del volumen que se desea posteriormente cocer. Esta agua de lavado permite extraer del orujo una importante cantidad de extracto que el primer mosto no fue capaz de lograrlo, dicho de otra forma es un lavado que se realiza al orujo.

Independiente del filtro que se ocupe, el orujo es enviado a los estanques de orujo, el cual consiste en enviarle golpes de aire en diferentes partes de una cañería donde está siendo transportado el orujo, para luego depositarlo en los respectivos estanques.

2.2.8. Estanque espera: Cada línea de producción tiene su respectivo estanque de espera, esto permite acumular el nivel necesario para que empiece el llenado al cocedor. Más adelante se explicará por qué razón es necesario tener un nivel mínimo de mosto en el estanque de espera para empezar el traspaso al cocedor. Al tener cada línea de producción su propio estanque de espera y conectadas entre las líneas de producción, se puede traspasar el mosto de una línea a otra, en el caso que pudieran existir inconvenientes (calmo, cocedor, whirlpool, enfriadera) en la línea de producción del mosto.

2.2.9. Calmo: Es un intercambiador de calor de placas, que permite calentar el mosto que entra al cocedor, disminuyendo la cantidad de vapor para calentar el mosto en el cocedor. Esto se realiza mediante agua caliente la cual se enfría y el mosto se calienta, posteriormente esta misma agua que se enfrió se calienta en la recuperación de energía en el condensador de vahos que tiene el cocedor. Más adelante se explicará a fondo este sistema de recuperación de energía. En la figura N°15 se muestra una imagen del calmo.



Figura N°15. Calmo.

2.2.10. Cocedor: Está equipado con todo lo necesario para que el mosto tenga una cocción eficiente (existen diferentes sistemas de cocción, el que se desarrolló en el presente trabajo es el sistema de cocción interna). Cuando todo el cocimiento se encuentra en el cocedor se llama fondo lleno, lo cual es muy importante saber para entender cuanta masa se tendrá que cocer. El

producto final de la cocción del mosto es llamado mosto caliente. En la figura N°16 se muestra el cocedor con dos estanques pequeños que son sus lupuladores.



Figura N°16. Cocedor con sus lupuladores.

La cocción del mosto tiene diferentes funciones de importancia como: la disolución y transformación de componentes del lúpulo, formación y precipitación de compuestos formados por proteínas y polifenoles, evaporación del agua, esterilización de mosto, destrucción de las enzimas (proteínas), carga térmica del mosto, reducción del valor del pH del mosto, formación de sustancias reductoras y evaporación de sustancias aromáticas indeseadas.

Disolución y transformación de componentes del lúpulo: Los compuestos del lúpulo son importantes para la fabricación de cerveza, como son: las resinas de lúpulo o compuestos amargos, la esencia y los taninos del lúpulo.

Las resinas de lúpulo o compuestos amargos son los componentes más importantes del lúpulo para la fabricación de cerveza, porque le otorga el sabor amargo. Los α -ácido son componentes insolubles en mosto frío. En el mosto en cocción ocurren cambios en la estructura de los α -ácido denominados isomerización. Los compuestos iso que se forman son mucho más solubles que los α -ácido a partir de los cuales han sido formados. La isomerización de los α -ácido durante la cocción de ninguna manera es completa. En promedio, sólo un tercio de los α -ácido contenidos en el lúpulo son isomerizados por el cocedor de mostos. La mayor parte de los α -ácidos isomerizados son al inicio de la cocción, disminuyendo cada vez más a medida que aumenta la duración de la cocción. Después de una hora de cocción la mayor parte de los compuestos que pueden ser isomerizados ya lo están.

Formación y precipitación de compuestos formados por proteínas y polifenoles: Las proteínas en el mosto están encargadas de la formación de la espuma y de la nutrición de la levadura, pero también, desfavorablemente, aumentan la turbidez del mosto. Dado que las proteínas tienen una gran afinidad (tendencia a la formación de compuestos) con los polifenoles (taninos), se debe considerar este complejo en forma conjunta. Los taninos del lúpulo y de la malta se disuelven completamente en el mosto y se combinan con las proteínas complejas de éste (turbidez).

Evaporación de agua: La evaporación de agua es el resultado de un proceso de cocción intensivo. Éste era deseado, porque se podía esperar una buena precipitación de proteínas (floculación) debido al movimiento intensivo del contenido que existe en el cocedor. Por eso, una elevada cuota de evaporación era, hasta hace unos años, una medida de calidad en la etapa de cocción, con una cuota de evaporación que estaba entre el 10 al 15% de la cantidad de mosto inicial que entraba al cocedor. Hoy en día los esfuerzos tienden a lograr cuotas de evaporación del 4%.

La evaporación de agua cuesta energía y la energía cuesta dinero. Consecuentemente se está interesado en no cocer durante más tiempo de lo necesario, no evaporar innecesariamente el mosto y en lo posible, recuperar la máxima energía utilizada (este es un objetivo específico que trata esta memoria). Pero la evaporación de agua tiene otros aspectos muy importantes. Una evaporación intensiva contribuye simultáneamente a un aumento del rendimiento consiguiendo un mosto más concentrado, pero no vale la pena cocer por aumentar la concentración durante tanto tiempo y tan intensivamente, dado que los costos de energía son sustancialmente mayores que la ganancia en el extracto. Al aumentar el agua de lavado del orujo, aumenta el porcentaje de evaporación, por consiguiente aumenta la cantidad de vapor para conseguir la concentración deseada.

Esterilización del mosto: Con el polvo de malta entran muchas bacterias y mohos al cocedor, los cuales, si no son destruidos, ponen agria la cerveza o pueden modificar su sabor. Durante la cocción del mosto son destruidos un 99,99% de los microorganismos.

Destrucción de las enzimas: Debido a la cocción del mosto (altas temperaturas) se destruyen casi todas las enzimas presentes en el cocedor. A causa de ello, ya no es posible una posterior modificación descontrolada de la composición del mosto.

Carga térmica del mosto: Debido a la cocción del mosto se oxidan taninos y se continúa incrementando con esto la carga térmica del mosto, oscureciéndolo progresivamente. La carga

térmica se expresa a través del coeficiente de ácido tiobarbitúrico (TBZ), que aumenta con el incremento de la duración de cocción aún durante el reposo en el Whirlpool, disminuyendo en la fermentación, sin embargo, dado que el TBZ representa al mismo tiempo una medida de valor para la estabilidad del sabor de la cerveza, es deseable no cocer durante demasiado tiempo e intensivamente. Por este motivo, los procesos modernos de cocción minimizan la carga térmica.

Descenso del valor de pH en el mosto: El mosto se acidifica levemente porque el lúpulo contribuye con algo de ácido. Muchos procesos importantes se desarrollan mejor o más rápidamente con un valor pH más reducido. Con el descenso del pH en el cocedor se permite tener una buena precipitación de los compuestos formados por proteínas y polifenoles durante la cocción del mosto, con un valor de pH cercano a 5,2. Una desventaja del bajo valor del pH, es el menor aprovechamiento de los compuestos amargos del lúpulo, por lo cual se requiere más lúpulo del necesario.

Evaporación de sustancias aromáticas indeseadas: En el mosto están contenidas una serie de sustancias aromáticas volátiles, que en parte no ejercen una buena influencia sobre el aroma de la cerveza. Para efectos de lograr establecer un perfil aromático óptimo, es necesario quitar del mosto estas sustancias aromáticas indeseadas como el Dimetil Sulfuro (DMS). La sumatoria del DMS-libre más el DMS-precursor da como resultado al DMS-total que existe en el mosto antes de la cocción. Con la ebullición del mosto en el cocedor, se impulsa la liberación del DMS-libre, el cual es liberado principalmente en los primeros 30 minutos de cocción. Mientras mayor sea la cantidad del DMS-libre purgado del mosto, menor es la cantidad del DMS-precursor que quedará en el mosto.

Contenido de zinc en el mosto: El zinc favorece la síntesis de proteínas en la cocción del mosto, para más adelante sedimentar en el centro del whirlpool (trub). Es también un elemento constituyente necesario de contacto en la fermentación alcohólica, por ello en el caso de dificultades de fermentación, se debería poner atención en la concentración del zinc ya que se podría deber a una deficiencia de este elemento en el mosto, sin embargo, se puede asumir que la mayoría de los mostos contienen suficiente zinc.

El inicio de la cocción de mosto está caracterizado por el hecho de que toda la cantidad del cocimiento se encuentra en el cocedor, este momento se denomina “fondo lleno”, sin embargo, para el cervecero son más importantes los valores del mosto caliente al final de la cocción que los valores al inicio de la cocción (más adelante se entregará una serie de valores los cuales se deben cumplir en la finalización de un cocimiento.)

El mosto se cuece de forma intensiva en el cocedor por sobre los 60 minutos, es por eso que el cocedor debe estar equipado con un dispositivo de calentamiento potente como los que se mencionan a continuación (en el siguiente capítulo se explicará el sistema de calentamiento interno llamado Stromboli).

- Cocedor con calentamiento directo por carbón, gas, aceite, diesel, etc.
- Cocedor con calentamiento por agua caliente.
- Cocedor con calentamiento por vapor (es el ocupado en CCU).

Una vez terminado con el cocimiento del mosto, éste es bombeado al Whirlpool por medio de la bomba de mosto caliente. Este proceso debe ocurrir lo más rápidamente posible para que el cocedor de mosto quede libre para el próximo cocimiento.

2.2.11. Sistema de cocción, enfriamiento y recuperación de energía: Los intercambiadores de energía normalmente se clasifican de acuerdo con el flujo paralelo o contracorriente y el tipo de construcción. Según su construcción tendremos dos grandes grupos: los intercambiadores tubulares y los intercambiadores de placas. Los intercambiadores más comunes en la industria son los tubulares (doble tubo y tubo-carcasa), pero cada vez más se está utilizando el intercambiador de placas para muchas aplicaciones de la industria moderna. En la figura N°17 se muestra un sistema de cocción con recuperación de energía mediante la condensación de los vahos del cocedor de mosto.

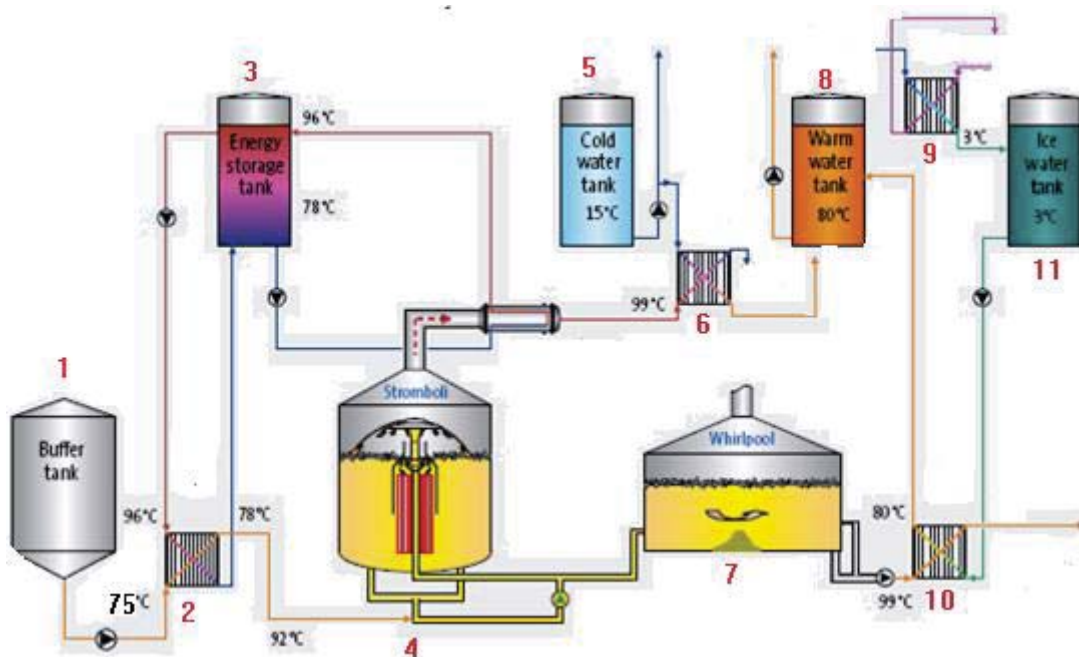


Figura N°17. Sistema de cocción, enfriamiento y recuperación de energía.

En el número 1 se encuentra un estanque acumulador de mosto y funciona como un buffer, este estanque acumula el mosto después de la filtración de éste. Una vez que el estanque acumulador de mosto tenga un mínimo de 600 hl, el mosto puede pasar al calmo o intercambiador de energía de placa representado con el número 2. El mosto en el buffer se espera que tenga una temperatura de 75°C.

En el número 2 se encuentra un intercambiador de energía de placa (calmo) el cual funciona en contracorriente. La entrada de agua caliente es proporcionada por el estanque recuperador de energía (ERE) representado por el número 3, el cual tiene una temperatura de 96°C, disminuyendo su temperatura con el transcurso del proceso del calmo. Esta corriente caliente al pasar por el intercambiador se enfría a una temperatura de 78°C. Por otro lado la corriente que se calienta es el mosto de viene del buffer que va en dirección al cocedor, la cual entra a una temperatura de 75°C y debe salir a una temperatura de 92°C.

En el número 3 se encuentra el estanque recuperador de energía. Este estanque está completamente lleno de agua para calentar el mosto que entra al cocedor a través del intercambiador de energía. Llega a tener una temperatura de 96°C en su parte superior, gracias

a la condensación de los vahos del cocedor y llega a una temperatura de alrededor de 80°C una vez terminado el calentamiento del mosto en el calmo.

En el número 4 se encuentra el cocedor de mosto con un sistema llamado Stromboli (se explicará más adelante el funcionamiento de este equipo con detalles) donde entra el mosto a una temperatura de 92°C, se debe calentar para llevar el mosto a los 98°C y posteriormente a los 103°C para la ebullición del mosto. Gracias al calentamiento que tiene que hacer el cocedor se forman los vahos que luego se condensarán.

En el número 5 se encuentra el condensador de vahos, que es un intercambiador de calor de tubo-carcasa en flujo contracorriente, el cual funciona condensando vapor de agua generado por el cocedor de mosto. Los vahos entran al intercambiador de tubo y carcasa y se condensan. Por otro lado se calienta una corriente del estanque recuperador de energía que entra una temperatura de 80°C y sale a 98°C.

En el número 6 se encuentra un intercambiador de calor de palca, más pequeño que el calmo, el cual calienta agua cervecera que se encuentra a temperatura ambiente y enfría la corriente de líquido condensado para llevarla a drenaje. La temperatura del agua que se calienta dependerá de qué temperatura se tiene en el ambiente, qué flujo de agua quisiera calentar, también dependerá de cuál es la temperatura de la corriente de drenaje que queremos enviar a la planta de riles, ya que no se puede enviar drenajes sobre los 40°C, porque dificulta el funcionamiento de esta planta.

En el número 7 se encuentra el whirlpool, en él sólo se produce una evaporación que no es aprovechada, ya que es insignificante para instalar un condensador de vahos. A la salida de whirlpool, el mosto debe tener una temperatura entre los 97 a 98°C y para pasar el mosto a fermentación, éste se debe enfriar.

En el número 8 se encuentra el estanque de agua caliente, de vez en cuando se pone en funcionamiento un calefactor para calentar el agua interna del estanque con un sistema de recirculación, sobre todo en los comienzos de semana donde existe la mayor pérdida de calor por el día o los días no trabajados (domingos o festivos). El llenado de este estanque principalmente se realiza con la corriente fría que se calentó al enfriar el mosto en la enfriadera, representada con el número 10. Esta agua caliente es ocupada en el pre-macerador, autoclave, macerador, lavado de filtro, etc.

En el número 9 se encuentra una enfriadera que funciona con amoníaco. Esa enfriadera tiene que funcionar con ese compuesto gracias a las características que tiene, para poder alcanzar temperaturas inferiores a los 3°C. El estanque de agua fría tiene que estar en permanente circulación para que no se caliente con el ambiente.

En el número 10 se encuentra la enfriadera de mosto, la cual enfría el mosto que sale del whirlpool hasta una temperatura que puede ir entre los 4 a 12°C, dependiendo cuál es el caldo madre que se está produciendo. Para que se enfríe el mosto, es necesaria una corriente fría que se encuentra a temperaturas inferiores a los 3°C., esta corriente se calienta y es llevada a los estanque de agua caliente (explicado anteriormente en el estanque de agua caliente, número 8 de la figura 17) a una temperatura de alrededor de 80°C.

En el número 11 se encuentra el estanque de agua fría, el cual permite tener a disposición una gran cantidad de agua con una temperatura inferior a los 3°C, permitiendo el enfriamiento del mosto para que pueda entrar a la bodega de fermentación.

2.2.12. Whirlpool: Es un recipiente vertical cilíndrico sin piezas interiores, en el cual una vez terminada la cocción del mosto, es introducido tangencialmente (mosto chocando con la pared del whirlpool y girando en torno a la misma pared) por bombeo. De este modo, se produce un flujo rotatorio en el recipiente, el cual causa que el mosto caliente sedimente formando un trub (queque) en el centro del recipiente. Esto se puede explicar porque las partículas en suspensión que quedaron en el mosto después de su filtración, se mueven muy rápidamente hacia el centro, acumulándose allí en forma de un queque, el cual en un principio también rotaba. Desde arriba se forman remolinos, donde las partículas externas del trub cambian permanentemente su ubicación agrupándose al centro, al igual que las demás partículas. La causa de esto es que está alterado el equilibrio entre las fuerzas de presión y centrifugación en el fondo del whirlpool, donde disminuye de manera particularmente fuerte, la velocidad del mosto, debido al rozamiento con el fondo, en tanto que en la superficie el mosto prácticamente no tiene rozamiento con el aire. Debido a esto se produce una recirculación dentro del whirlpool. En la figura N°18 se muestra un whirlpool.



Figura N°18. Whirlpool.

Una vez alcanzado el fondo lleno en el whirlpool y cumplido con el tiempo estipulado como receta para este proceso, el mosto es extraído lateralmente para no desarmar el trub que se formó en el centro y esto se realiza en diferentes etapas: primero se extrae el mosto por la válvula que se encuentra en la parte superior del whirlpool, una vez que el sensor de nivel marca vacío se abre automáticamente la válvula del centro, luego cuando el sensor de nivel de esta última válvula marca vacío, se abre la válvula inferior la cual está más cercana al trub. Al finalizar la extracción del mosto hay que dejar el whirlpool limpio para recibir otro cocimiento, para esto se cuenta con unos dosificadores de agua que remueven el trub que haya quedado pegado en el fondo. Este trub se va a los estanques correspondientes para no perderlo, donde luego se ocupa como material filtrante en los filtros Lauter ya que tiene una concentración de extracto.

2.2.13. Enfriadera: Es un intercambiador de calor de placas que permite enfriar el mosto para que éste sea fermentado a una temperatura de inicio de fermentación, que puede ir de 3 a los 12°C. Esto es importante, porque la permanencia prolongada en temperaturas intermedias, incrementa el riesgo de propagación de microorganismos perjudiciales para la cerveza. En el momento del bombeo de mosto caliente desde el whirlpool a la enfriadera, éste se encuentra libre de gérmenes, por lo tanto la preocupación principal del tema microbiológico tiene que ver desde este punto hacia adelante. El mosto a la salida del whirlpool puede tener temperaturas que oscilan entre los 98 a 95°C (o más baja dependiendo del tiempo que se tenga el mosto enfriándose en el whirlpool, un enfriamiento del mosto de este tipo no debiera pasar, ya que se oscurece el producto). Dado que la levadura sólo puede fermentar a baja temperatura, se debe enfriar el mosto caliente lo más rápidamente posible a una temperatura inferior a los 12°C,

dependiendo del caldo madre que se esté produciendo, esto ocurre gracias a una corriente de agua fría que se encuentra a una temperatura inferior a los 3°C (se puede conseguir agua a tan bajas temperaturas gracias a un sistema de enfriamiento con amoníaco explicado anteriormente). Por un lado el mosto es enfriado para su fermentación y el agua fría es calentada para introducirla a los estanques de agua caliente para la elaboración del mosto. Durante el enfriamiento del mosto ocurre una serie de procesos que tienen una influencia decisiva sobre la velocidad de la fermentación y maduración. Esto incluye el tiempo de enfriamiento del mosto, la formación y extracción óptima del trub en frío y la aireación intensiva del mosto. En la figura N°19 se muestra una enfriadera de mosto.



Figura N°19. Enfriadera de mosto.

2.3. Proceso de Fermentación

Una vez enfriado el mosto pasa por una de las cuatro bodegas existentes, las cuales constan de diferentes estanques y características, como lo explica la siguiente tabla.

Estanque	Capacidad HL	Especificación
UT	4900	Fermentación y Reposo
TCC	2100	Fermentación
TR	3400	Reposo

Tabla N°3. Tipos de estanque que conforman una bodega de fermentación.

Cabe mencionar que la capacidad de estos estanques UT ó TCC es superior, ya que sólo se está mencionando el volumen de mosto a fermentar, porque con el ingreso de la levadura el estanque produce una espuma, la que aumenta el volumen total al interior del estanque, sin embargo, existen formas para reducir esta espuma.

El estanque UT es llenado habitualmente con siete cocimientos, cada uno de éstos tiene una capacidad de 700 hl, teniendo un total de mosto de 4900 hl. La capacidad total del estanque es de 6500 hl, por esta razón, durante la época estival se puede agregar un cocimiento extra para aumentar la producción, requiriendo un mayor control sobre la espuma producida al incorporar la levadura para fermentar.

En el siguiente diagrama de flujo representado en la figura N°20 se muestran las etapas más relevantes del proceso de fermentación.



Figura N°20. Diagrama de bloque de la etapa de fermentación.

Una vez enfriado el mosto entra por una de las bodegas (líneas donde circula el mosto) para llegar a un estanque fermentador y posteriormente a un estanque de reposo, donde se le adiciona la levadura diluida (TL, estanque levadura) y esta mezcla entra al estanque fermentador, como lo muestra la siguiente figura.

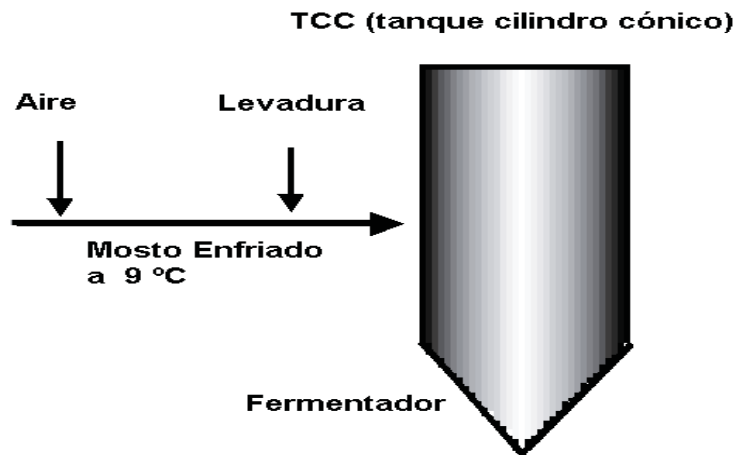


Figura N°21. Entrada del mosto con levadura al TCC.

Uno de los procesos más importantes de la elaboración de la cerveza es la fermentación de los azúcares contenidos en el mosto a etanol y dióxido de carbono. Las reacciones en la fermentación se pueden dividir en reacciones de fermentación propiamente tal y reacciones de maduración, pero las reacciones se solapan entre sí. Es por ello necesario considerar las reacciones de fermentación y de maduración como un proceso continuo. Se forman subproductos de fermentación, que influyen de forma sustancial sobre el sabor, el olor y otras propiedades de valoración de la cerveza. La formación y la degradación parcial de estos productos secundarios están íntimamente ligados con el metabolismo de la levadura.

La levadura es el mejor socio del cervecero, tiene un color marrón y lleva una complicada vida propia. Adquiere esta vida propia a través de un desarrollo que duró miles de millones de generaciones y que se encuentra almacenado en sus genes. El interés de la célula de levadura, es de un tipo totalmente diferente a los del cervecero, mientras el cervecero está particularmente interesado en los productos finales, alcohol y CO_2 , justamente estos productos son venenos celulares, por tanto la célula de levadura los excreta, esto se realiza gracias a la pared celular de la levadura que es semipermeable, permitiendo el ingreso de nutrientes y la

liberación del CO₂ y el alcohol. Bajo este aspecto sólo pueden lograrse valores óptimos para la fabricación de cerveza, si también se crean condiciones óptimas de vida para la levadura. A esto se agrega que la calidad de la cerveza es influenciada de forma decisiva por la levadura y sus productos metabólicos [2].

Al inicio de la fermentación, la célula de levadura debe acostumbrarse principalmente a su nuevo ambiente, el cual en primera instancia tiene un aspecto chocante sobre ella, otra temperatura, otro valor de pH, elevada concentración de azúcares, etc. Por algunas horas excreta aminoácidos y nucleótidos. Cuanto mayor es la temperatura, tanto más se excreta. Pero el proceso de acostumbramiento dura sólo un tiempo breve, antes de que entre en contacto más íntimo con el nuevo ambiente, la levadura toma primeramente sustancias de reserva almacenadas, las cuales le suministran la primera energía, pero debido a la oferta sobre el enriquecido de azúcares fermentables en el mosto, la célula de levadura comienza rápidamente con la degradación del azúcar. Dado también que además se absorbe oxígeno del aire disuelto, se inicia simultáneamente la respiración, la cual conduce a una gran ganancia de energía en las mitocondrias que son las centrales de energía de la célula. Debido a este empuje de energía, le es posible a la levadura no sólo comenzar con la fermentación, sino simultáneamente formar nuevas sustancias celulares y propagarse por gemiparidad [3].

Una vez terminado el llenado del TCC con los tres cocimientos, o bien el UT con siete cocimientos, dentro del estanque se deben tener las siguientes condiciones: una temperatura de 12°C, una presión de 0,4 Bar y una concentración homogénea de 16.5°P. Durante la fermentación se controla la disminución del grado plato, se regula la temperatura por intermedio de un control automático sobre las chaquetas de amoníaco del estanque y también es controlada la presión de CO₂. Una vez que el grado plato llegue a los 12 °P se mantiene la temperatura en 12°C y se sube la presión a 0,8 bar. Cuando el °P llega a 7 se eleva la temperatura a 16 °C y la presión en 1,4 Bar. Una vez que la lectura del °P se repita dos a tres veces se manda a realizar la prueba del Diacetilo (este compuesto produce un sabor desagradable como a mantequilla) el cual debe tener una concentración menor a 25 ppm para seguir con el proceso, cabe mencionar que cada turno, día, tarde o noche debe hacer una lectura de las condiciones señaladas anteriormente. Una vez que el Diacetilo cumple con la concentración se abre todo el frío de las chaquetas del estanque, disminuyendo la temperatura del estanque fermentador dejándola entre 6°C a 7°C. En el caso que el Diacetilo sea superior a 25 ppm, se debe mantener el TCC o el UT según corresponda en la última condición antes de tomar la muestra de Diacetilo, para dar un tiempo necesario para que el Diacetilo disminuya (el Diacetilo disminuye con temperaturas relativamente bajas).

Una vez enfriada la cerveza se extrae la levadura floculada en el cono y se reduce la presión a 0,8 Bar, esto provoca un barrido y a la vez un lavado de los compuestos volátiles y precursores de compuestos aromáticos indeseables en la cerveza, como por ejemplo el Dimetilsulfuro (DMS). El motivo fundamental para aplicar presión en la fermentación es reducir la producción alcohólicos superiores y ésteres producidos por el metabolismo de la levadura, además se logra reducir la espuma generada durante la fermentación.

A continuación se realiza el traspaso del estanque fermentador al estanque de reposo (en el caso de un TCC, porque un UT realiza la fermentación y el reposo en el mismo estanque, no necesita traspaso), pasando el mosto a través de una enfriadera de amoniaco, para quitarle calor al mosto y poder bajar a la temperatura de reposo como lo muestra la figura N°22.

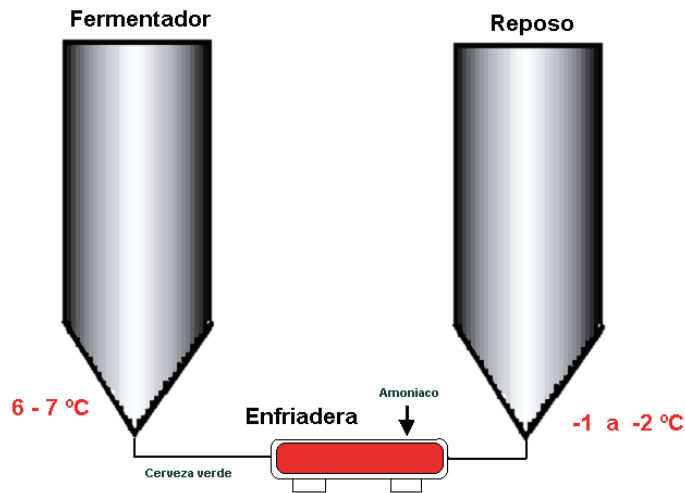


Figura N°22. Traspaso de fermentador a reposo.

En este momento se puede hablar de cerveza verde (reposo), donde se deja sedimentar y se elimina la levadura que aún tiene la cerveza. Al recibir la cerveza en un estanque de reposo es necesario contra presionar para evitar la salida de gas y la formación de espuma. Es un factor que puede contribuir a la deficiencia de espuma. Durante el reposo la cerveza debe mantenerse bajo presión interna de 0.7 a 0.8 bar para evitar la oxidación, la descarbonatación y facilitar la clarificación de ésta (la levadura con presión tiende a sedimentarse y más con frío). Para mantener la temperatura dentro del estanque entre -2 y -1 °C. Este estanque esta forrado mediante chaquetas en las cuales circula amoniaco. Si es mayor de 0°C la temperatura dentro del estanque puede presentarse autólisis de la levadura afectando el sabor, aumenta el efecto de la oxidación, además no se presentan coagulaciones de las sustancias que precipitan en frío

(proteosas, peptonas, taninos, etc.) y por tanto se obtienen cervezas químicamente inestables. Esta etapa de reposo dura a lo menos 5 días, para completar un total de 15 días de proceso para la elaboración de la cerveza (cocimiento, fermentación, filtrado y envasado).

2.4. Proceso de Filtración

Al finalizar el proceso aún quedan contenidas una gran cantidad de levaduras y otras partículas que favorecen a la turbidez, como son los sólidos en suspensión. Es por esto que se requiere una filtración de la cerveza, en la cual se elimina gran parte de estas partículas.

El proceso de filtración consta de varios filtros con diferentes características, además es aquí donde la cerveza es controlada para que cumpla con la especificación correspondiente, como por ejemplo: el color, el amargor, el oxígeno disuelto, grado alcohólico, etc. En la figura N°23 se muestra el diagrama de bloque con los principales equipos de la etapa de filtración.

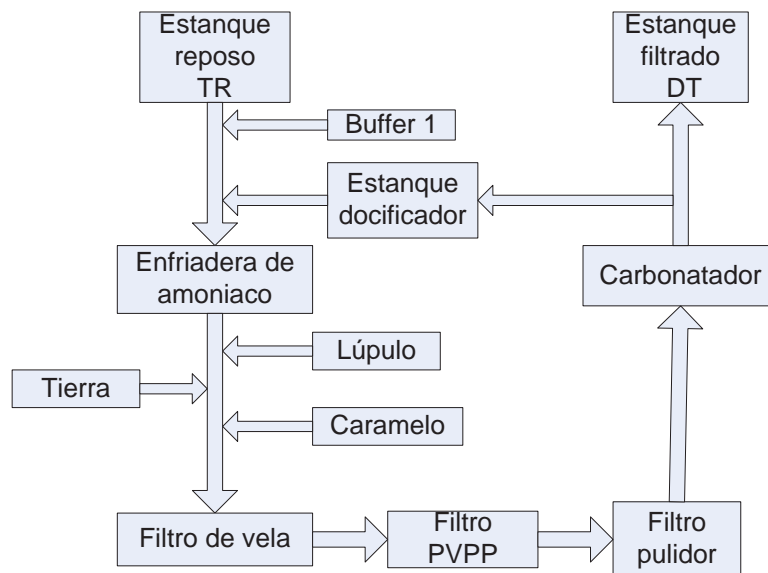


Figura N°23. Diagrama de bloque de la etapa de filtración.

A continuación se menciona brevemente cada equipo y sus diferentes funciones que componen la etapa de filtración.

Estanque reposo TR: Estanque de cerveza después del reposo, lista para ser filtrada.

Buffer 1: Agrega agua desaireada para disminuir el °P de la cerveza según corresponda, esto permite obtener más volumen de cerveza con un volumen determinado de ésta, en pocas palabras es una dilución.

Enfriadera de amoníaco: Necesaria para tener una cerveza bien helada para ser filtrada.

Lúpulo: Dosificación de lúpulo para proporcionarle el amargor necesario a la cerveza.

Tierra: Se le agrega tierra de Diatomea como material filtrante.

Caramelo: Se le agrega caramelo para proporcionarle el color característico de la cerveza.

Filtro de vela: Es un filtro que permite filtrar la cerveza gracias a la tierra de Diatomea, separando proteínas, células muertas, levadura, etc. Gracias a unos tubos que tienen miles de agujeros muy pequeños, permiten que pase la cerveza y no la tierra que captura los compuestos antes mencionados.

Filtro PVPP: La polivinilpolipirrolidona es un material que se utiliza para la eliminación de los polifenoles de la cerveza después de la filtración normal.

Filtro pulidor: Retiene la tierra de Diatomea, levaduras, y cualquier célula que se haya pasado de los otros filtro mencionados anteriormente.

Carbonatador: Suministra el CO₂ a la cerveza.

Estanque filtrado DT: Estanque de cerveza filtrada, lista para ser envasada.

3. Marco teórico

La elaboración de la cerveza consta de tres etapas: cocimiento, fermentación y filtración, donde sus materias primas son: agua, cebada, levadura y lúpulo. La elaboración de la cerveza debe regirse según la receta llamada caldo madre, la cual es una estructura rígida que el cervecero debe cumplir para la elaboración de la cerveza, por ejemplo se debe respetar el consumo de lo siguiente: la cantidad de agua, cebada, lúpulo, levadura según corresponda, la cantidad de vapor para calentar el producto mosto-cerveza etc.

En una empresa cervecera al igual que en cualquier empresa, por ejemplo de alimentos, mineras o agroindustrias, siempre es necesario reducir el consumo de combustible y CCU no es la excepción. Para disminuir el consumo de vapor en los cocedores de mosto, es necesario interiorizarse sobre el funcionamiento de éste para tomar la mejor alternativa. También es necesario saber sobre la recuperación de energía que se tiene.

3.1. Funcionamiento del cocedor de mosto (Stromboli)

El cocedor consta en su interior con un intercambiador de calor, el cual tiene un haz de tubos en el cual circula vapor saturado para calentar y posteriormente realizar la ebullición del mosto. Se logra reducir la evaporación del mosto, alcanzando solamente una evaporación total de alrededor de un 4% en comparación con otros sistemas de cocción que tienen entre un 10-15% de evaporación. Esta disminución de evaporación permite ahorrar agua en el proceso, ya sea disminuyendo el calor para calentar, como haciendo los cocimientos un poco más concentrados. En el cocedor se combinan dos circuitos de circulación del mosto: la circulación natural en el cocedor y la circulación mediante bomba por el tubo elevador central. El primer circuito de recirculación de mosto es mediante una tobera Venturi, que se encuentra encima del intercambiador de calor, mediante la alimentación del mosto por la parte inferior del tubo elevador central en la parte exterior de la tobera Venturi, se genera un vacío que apoya la corriente de mosto dentro del haz de tubos, a la salida de haz de tubo se encuentran con un plato (gorro chino) pequeño donde el mosto choca y cae. De esta forma el volumen dentro del intercambiador de calor se trata homogéneamente y se mezcla de forma uniforme. En el segundo circuito de recirculación de mosto, éste sale de manera homogénea por el fondo del cocedor, la bomba reguladora por frecuencia que se encuentra al exterior del cocedor, lleva el mosto mediante el tubo elevador que se encuentra en el centro del haz de tubos del

intercambiador de calor, a la parte superior, donde se encuentra con un plato (gorro chino) donde el mosto choca y cae. Se busca que la caída del mosto sea de 45° en relación a la pared del estanque y el nivel del mosto dentro del cocedor, para lograr una perfecta armonización dentro del estanque.

En la figura N°24 se muestra la primera circulación de mosto gracias al vacío generado por la tobera Venturi y por la capilaridad formada dentro del cocedor.

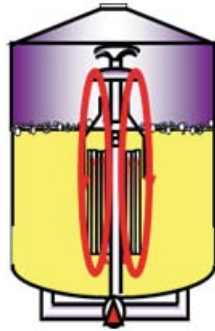


Figura N°24. Recirculación del mosto por capilaridad.

En la figura N°25 se muestra la segunda circulación de mosto gracias a una bomba reguladora de frecuencia.

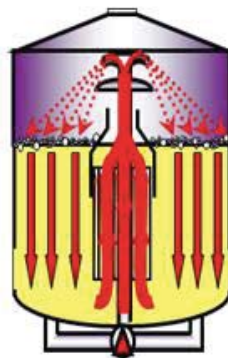


Figura N°25. Recirculación del mosto por bombeo.

A continuación en la figura 26 se muestra las dos recirculaciones dentro del cocedor al mismo tiempo.

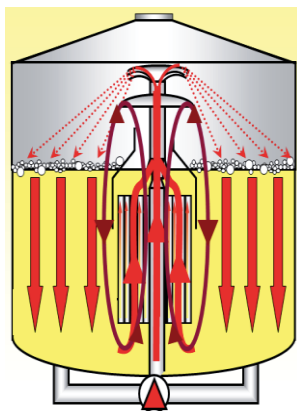


Figura N°26. Las dos recirculación de mosto dentro del cocedor al mismo tiempo.

3.2. Receta caldo madre 4 (cocedor)

Pasos	Función	Receta
1. Llenar	Tiempo de paso	40 min
	Retraso contenido	10 s
	Nivel recipiente	600 hl
2. Llenar y calentar	Tiempo de paso	40 min
	Temp. máxima	94°C
2.1. Calentar	Tiempo de fase	15 min
	Flujo de vapor	5000 kg/h
	Cantidad de vapor	1500 kg
	Velocidad bomba de mosto	85 %
	Sub-fase termina	Temperatura
	Nivel de recipiente	600 hl
	Temperatura de fase	94°C
	Toma muestra	No
	3. C. ebullición	Tiempo de paso
Retraso temperatura		10 s
Temperatura		98°C
3.1. Calentar	Flujo de vapor	5500 kg/h
	Cantidad de vapor	3500 kg
	Velocidad bomba de mosto	85 %
	Tiempo de fase	15 min
	Sub-fase termina	Temperatura
	Temperatura de fase	92°C
	Toma muestra	Si

Pasos	Función	Receta
3.2. Calentar	Flujo de vapor	5500 kg/h
	Cantidad de vapor	2500 kg
	Velocidad bomba de mosto	75 %
	Tiempo de fase	15 min
	Sub-fase termina	Temperatura
	Temperatura de fase	96°C
	Toma muestra	Si
3.3. Calentar	Flujo de vapor	5500 kg/h
	Cantidad de vapor	1500 kg
	Velocidad bomba de mosto	70 %
	Tiempo de fase	15 min
	Sub-fase termina	Temperatura
	Temperatura de fase	98°C
	Toma muestra	Si
4. Ebullición	Tiempo de paso	0 min
	Máximo tiempo hervir	90 min
	Cantidad total vapor	3200 kg
4.1. Hervir sin presión	Tiempo de fase	10 min
	Flujo de vapor	2500 kg/h
	Cantidad de vapor	350 kg
	Velocidad bomba de mosto	90 %
	Sub-fase termina	Tiempo + cantidad
	Toma muestra	No
	4.2. Subir presión	Tiempo de fase
Flujo de vapor		3945 kg/h
Velocidad bomba de mosto		90 %
Presión válvula 1		150 mbar
Presión válvula 2		150 mbar
Toma muestra		No
4.3. Hervir con presión	Tiempo de fase	30 min
	Flujo de vapor	2500 kg/h
	Cantidad de vapor	1050 kg
	Velocidad bomba de mosto	90 %
	Presión válvula 1	150 mbar
	Presión válvula 2	150 mbar
	Sub-fase termina	Tiempo + cantidad
	Toma muestra	No
4.4. Relajación de presión	Flujo de vapor	575 kg/h
	Velocidad bomba de mosto	90 %
	Rampa	0.27 %/s
	Toma muestra	No

Pasos	Función	Receta
4.5. Hervir sin presión	Tiempo de fase	20 min
	Flujo de vapor	2500 kg/h
	Cantidad de vapor	700 kg
	Velocidad bomba de mosto	90 %
	Sub-fase termina	Tiempo + cantidad
5. Enjuague	Tiempo de paso	5 min
	Tiempo retraso vacio	10 s
	Cantidad agua de enjuague	15 hl
	Velocidad bomba de mosto	95 %

Tabla N°4. Receta caldo madre 4 (cocedor).

A continuación en la siguiente figura se muestra un gráfico, el cual corresponde al funcionamiento del cocedor en un CM 4

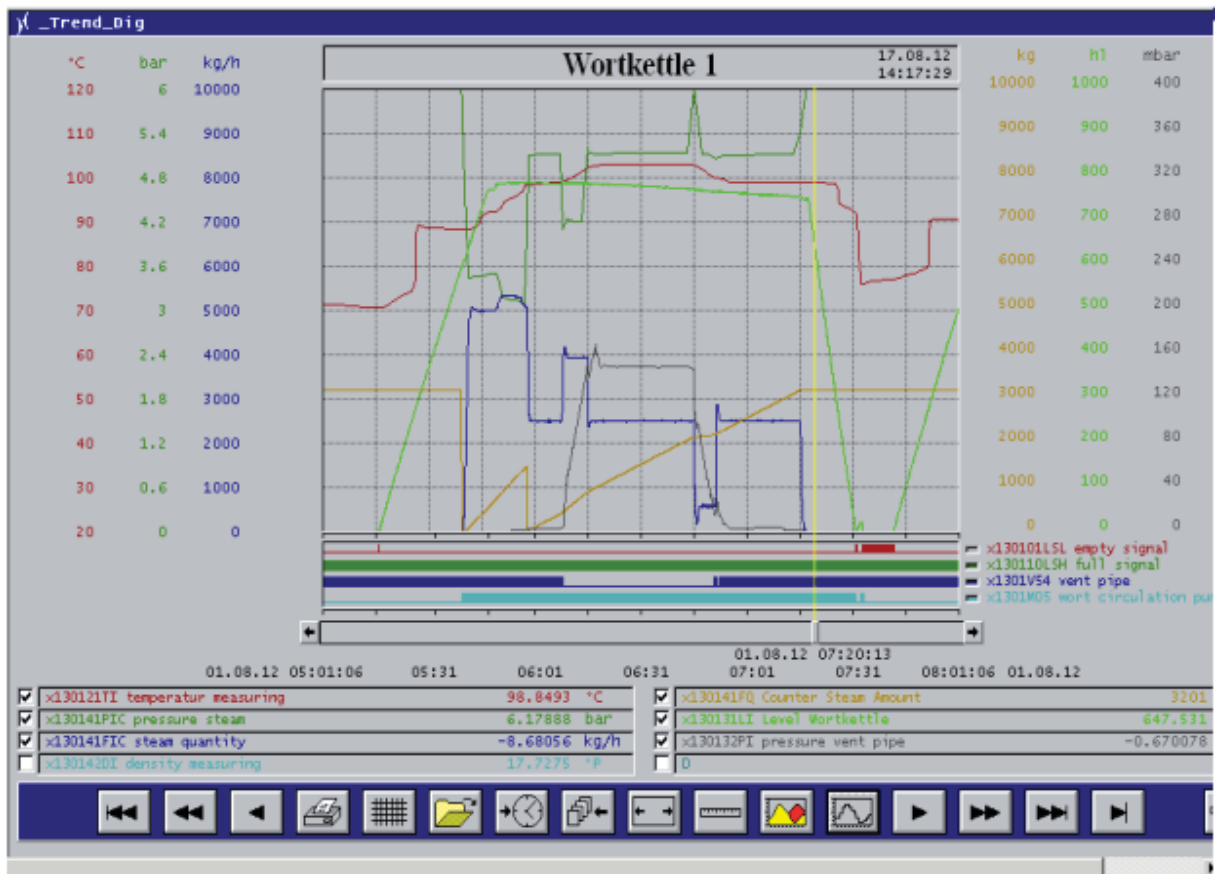


Figura N°27. Funcionamiento del cocedor de mosto CM 4.

En la figura N°27 se muestran diferentes variables de proceso que tiene el cocedor como por ejemplo: la temperatura dentro del cocedor, la presión de vapor, el flujo de vapor, los kg de vapor consumidos, la cantidad de hectolitros que contiene el cocedor y la presión interna del cocedor. Estas son las variables de operación del cocedor, las cuales pueden variar siempre y cuando exista un inconveniente en el proceso, ya sea por el suministro de vapor, el estrangulamiento de mosto en una válvula, por la lectura de un sensor, por la manipulación del operario controlador, etc., ya que el cocedor de mosto como la mayoría de los equipos (para no decir un 100% de los equipos) responden a su respectiva receta como la señalada anteriormente en la tabla 4 que corresponde al cocedor de mosto.

3.3. Pasos del cocedor de mosto

Como toda receta de cualquier chef tiene un orden, la cocción del mosto no es la excepción. Consta de varios pasos consecutivos antes de la ebullición, una vez alcanzada la ebullición consta de cinco pasos y posteriormente realizar el enjuague del equipo para dejarlo en las condiciones necesarias para recibir un próximo cocimiento. A continuación se describirá y se explicará los pasos que conforman el proceso de cocción:

Llenar.

- 1- Cuando se alcanza un mínimo de volumen de 500hl de mosto filtrado en el estanque de espera (recordar que éste mosto viene del filtro Lauter o el de prensa según corresponda), automáticamente empieza el traspaso de mosto al calmo para que éste se caliente y entre en el cocedor con mayor temperatura. Una vez alcanzado un nivel de 600 hl en el cocedor, se pone en funcionamiento la bomba de recirculación y se le ingresa el vapor para calentar el mosto. Esta bomba empieza a funcionar 30 segundos antes que comience el suministro de vapor, esto permite asegurarse que el haz de tubo (intercambiador de calor interior del cocedor) no sufra un calentamiento. Todo este paso lo realiza con un tiempo máximo de 60 minutos.

Calentar y llenar.

- 2- El fondo lleno del cocedor de mosto (promedio 780 hl) empieza cuando marca vacío el sensor de nivel del estanque de espera. No se pueden conseguir temperaturas iguales o superiores a los 94°C si todavía se está llenando el cocedor con mosto (existe esta restricción para tener un calentamiento homogéneo y no tener una

temperatura cercana a la de ebullición dentro del cocedor, porque el mosto que esta entrando al cocedor tiene una temperatura inferior a los 90°C). Cuando ocurre esta restricción, el suministro de vapor se corta y volverá cuando se consiga el fondo lleno o bien que la temperatura del cocedor disminuya por debajo de los 94°C, cumpliendo cualquiera de estas dos posibilidades se vuelve a suministrar vapor. Este corte de suministro perjudica muy fuertemente a la carga térmica del mosto, estos cortes de vapor se originan más a menudo cuando se consigue tener un buen calentamiento del mosto en el calmo, teniendo un mosto que entra al cocedor con mayor temperatura de los 90°C, por consiguiente se necesitará menos cantidad de vapor para alcanzar los 94°C, por esta razón se cambió el límite de temperatura de 94 a 96°C. Este paso tiene un tiempo máximo de 40 min.

2.1 Se realiza con un flujo de vapor de 5000 kg/h con un tiempo máximo de 15 minutos.

Calentar para ebullición.

3- Tiene un tiempo de 30 minutos con una temperatura de 98°C como temperatura tope.

3.1 Se realiza el calentamiento del mosto con un flujo de vapor de 5500 kg/h con una temperatura de 92°C como máximo, este paso prácticamente no se realiza, ya que siempre el paso 2.1 es suficiente para alcanzar temperaturas sobre los 92°C, este paso se podría ocupar en el primer cocimiento de la semana donde el estanque recuperador de energía se enfrió o se tiene algún inconveniente con el flujo de vapor o la recuperación de energía. Se tienen pasos intermedios para asegurarse de alcanzar las temperaturas establecidas.

3.2 Se realiza el calentamiento del mosto con un flujo de vapor de 5500 kg/h con una temperatura de 96°C, este paso habitualmente se realiza.

3.3 Se realiza el calentamiento del mosto con un flujo de vapor de 5500 kg/h con una temperatura de 98°C, este paso es el último para empezar la ebullición.

Ebullición.

4- Tiene un tiempo de 90 minutos como máximo y una cantidad determinada de 3200 kg de vapor.

4.1 Hervir sin presión: se realiza con un flujo de vapor de 2500 kg/h en un tiempo total de 10 minutos, consumiendo en receta 350 kg de vapor, que en la práctica consume 416 kg vapor, ya que el paso está limitado por tiempo más cantidad, las dos

condiciones se tienen que cumplir. Por lo tanto consume 66 kg de vapor extra según receta.

- 4.2 Hervir con presión: se realiza con un flujo de vapor de 3945 kg/h en un tiempo de 15 minutos, consumiendo en receta supuestamente 986 kg de vapor, pero este paso en la práctica se realiza en 10 minutos consumiendo un total de 657 kg de vapor. Este paso termina cuando se consigue una presión de 150mbar de presión dentro del cocedor. Por lo tanto sobran 329 kg de vapor según receta.
- 4.3 Hervir con presión: se realiza con un flujo de vapor de 2500 kg/h en un tiempo total de 30 minutos consumiendo en receta 1050 kg de vapor, que en la práctica consume 1250 kg vapor, ya que el paso está limitado por tiempo más cantidad, las dos condiciones se tienen que cumplir. No olvidar que este paso lo realiza bajo presión interna de 150 mbar.
- 4.4 Relajación de presión: se realiza con un flujo de vapor de 575 kg/h en un tiempo aproximado de 3 a 4 minutos. Consumiendo en la práctica cerca de 40 kg de vapor. Este paso es fundamental para volver a hervir sin presión, disminuyendo paulatinamente la presión interna hasta alcanzar la presión del ambiente.
- 4.5 Hervir sin presión: se realiza con un flujo de vapor de 2500 kg/h en un tiempo total de 20 minutos consumiendo en receta 700 kg de vapor, que en la práctica consume alrededor de 830 kg de vapor, ya que tiene que cumplir con el tiempo y la cantidad total como cuota que tiene el paso de ebullición que son 3200 kg de vapor.

Enjuague.

- 5- Se realiza el enjuague con 15 hl de agua y con una duración de 5 minutos.

3.4. Funcionamiento de la chimenea del cocedor

La recuperación de energía es un ahorro que se tiene para calentar el agua que posteriormente se enfriará al calentar el mosto clarificado. En la figura 28 se muestra y se explica más detalladamente la recuperación de energía que se tiene en la cocción de mosto.

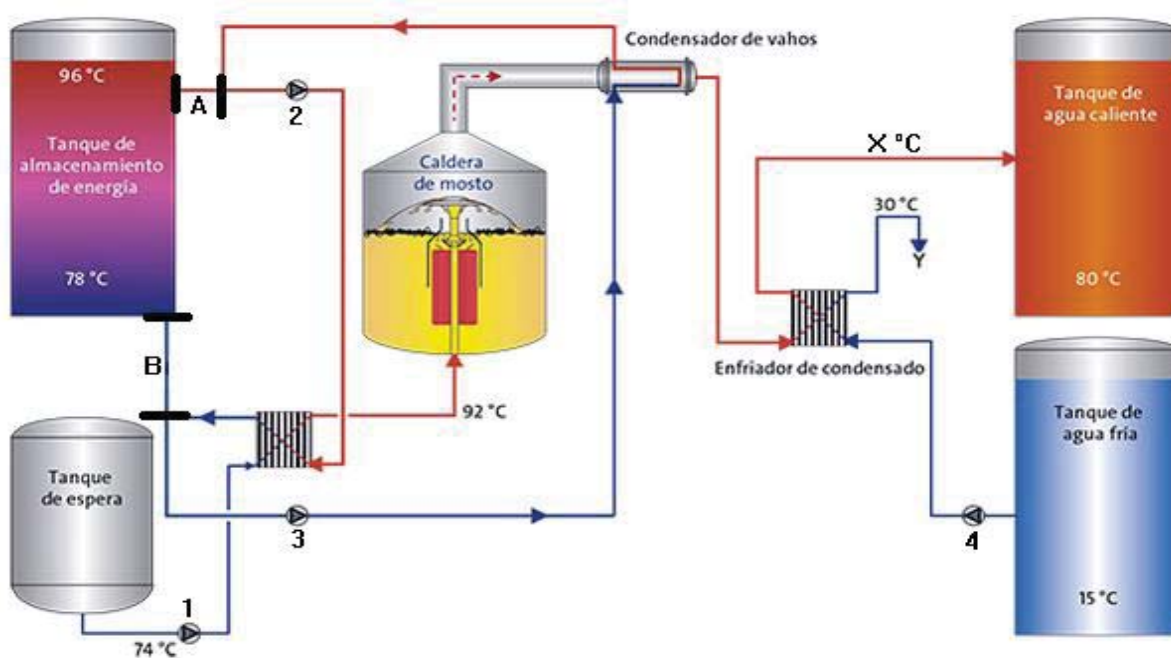


Figura N°28. Recuperación de energía en la cocción.

Para darle sentido a la imagen, cuando se realiza el calentamiento del mosto en el calmo, el tramo de cañería "A" tiene dirección hacia afuera del estanque (ERE), sacando el agua de éste con la bomba de agua N°2. El tramo de cañería "B" tiene dirección hacia adentro del estanque, entrando el agua enfriada al estanque.

Cuando se realiza la recuperación de energía con el condensador de vahos, el tramo de cañería "B" tiene dirección hacia afuera del estanque, sacando el agua del estanque con la bomba N°3. El tramo de la cañería "A" tiene dirección hacia adentro del estanque, entrando el agua que se calentó en el condensador de vahos.

Como se explicó anteriormente en el capítulo N° 1.3.2.11, se tiene el estanque acumulador de energía o estanque recuperador de energía el cual tiene una temperatura de 96°C en su parte superior. Para que se produzca el calentamiento del mosto que entra al cocedor, se pone en funcionamiento la bomba número 1 y 2, con un retarde de 30 segundos de

la bomba número 2. La bomba número 1 funciona con un variador de frecuencia, donde la moduladora de mosto regula el flujo de éste para conseguir los 92°C a la salida del calmo. Con la bomba número 2 saca agua del estanque recuperador de energía para calentar la corriente de mosto que entra al cocedor.

La chimenea del cocedor de mosto está compuesta por dos válvulas de cierre ON/OFF una superior y la otra inferior y entre ambas existen dos moduladoras de presión y en un costado se tiene una válvula de vacío. También se tienen dos válvulas de seguridad.



Figura N°29. Chimenea del cocedor de mosto.

En la Figura N°29 se aprecia la chimenea del cocedor de mosto, que a través de una tubería se conecta con el condensador de vahos. En la figura se identifica el número 1 y 2 que corresponde a las válvulas ON/OFF, en el número 3 se tiene la válvula de seguridad (se tienen en caso de emergencia, si alguna vez el cocedor supera la presión interna de 500 mbar, estas válvulas revientan y se libera la presión interna del cocedor), en el número 4 se tiene la moduladora de presión. La chimenea del cocedor es simétrica, por lo tanto, en la parte posterior que no se aprecia en la figura, se tiene en la misma altura la válvula de seguridad como la moduladora de presión, además de la válvula de vacío.

El llenado del cocedor de mosto se realiza con las válvulas 1 y 2 abiertas y las moduladoras cerradas. Una vez alcanzada la temperatura de 98°C empieza la ebullición del mosto con el paso hervir sin presión, donde se cierra la válvula número 1 y se pone en funcionamiento el condensador de vahos. En el siguiente paso denominado subir presión, se cierra la válvula número 2 y se espera que la presión dentro del cocedor llegue a 150 mbar, al finalizar este paso existe la mayor cantidad de producción de vahos, es por esto que la bomba número 3 de la figura N°28 funciona con mayor velocidad. En el paso denominado hervir con presión, se abren las moduladoras de presión identificada con el número 4 de la figura N°29 para mantener dentro del cocedor una presión constante de 150 mbar. En el paso denominado relajación de presión, se abren las dos moduladoras de presión en un 100%. Después en el paso denominado hervir sin presión, se abre la válvula 2 y se sigue recuperando calor, en todos estos pasos se ha estado ocupando el condensador de vahos, excepto en el paso subir presión, donde el cocedor queda totalmente hermético. Cabe señalar que no necesariamente el condensador de vahos seguirá funcionando en todo el proceso de cocción del mosto, porque está limitado por el controlador indicador de temperatura (TIC) que se encuentra en la parte inferior del estanque recuperador de energía (ERE) el cual nos dice que no se puede tener una temperatura mayor a los 88°C (luego se cambiará a un límite de temperatura de 93,5°C).

4. Materiales y propósitos de análisis de mosto

Los métodos de análisis del producto en cualquier empresa son necesarios, sobre todo en las empresas de alimentos como ésta, donde se tiene una cadena productiva, que en el caso de que una etapa de elaboración no funcione como debiera, lo más probable es que se tengan inconvenientes en la siguiente etapa de elaboración. Para que no suceda esto en el cocimiento, el mosto producido consta de los siguientes análisis:

- 1.- Dimetil sulfuro total, libre y precursor.
- 2.- Índice de ácido tiobarbitúrico.
- 3.- Nitrógeno total.
- 4.- Nitrógeno amino libre.
- 5.- Nitrógeno coagulable.
- 6.- Análisis de calcio.
- 7.- Análisis de yodo
- 8.- Análisis de amargor.
- 9.- Análisis del color.
- 10.- Análisis de concentración y densidad.
- 11.- Análisis de densidad.

4.1. Análisis mosto

4.1.1. Dimetil sulfuro total, libre y precursor

Propósito: Determinar la concentración de DMS total y DMS libre mediante cromatografía de gaseosa y por diferencia se obtiene el DMS precursor (DMS-P).

Principio: Los precursores de DMS presentes en el mosto son transformados en DMS libre mediante una cocción alcalina y finalmente determinados por cromatografía de gases por la técnica headspace.

Equipo: Cromatógrafo de gases, con un detector selectivo al azufre llamado FPD

4.1.2. Índice de ácido tiobarbitúrico

Propósito: Determinar el índice del ácido tiobarbitúrico como un indicador de la carga térmica que sufren el mosto.

Principio: El análisis consiste en reaccionar la muestra con una solución de ácido tiobarbitúrico, acidificado con ácido acético, con la consecuente formación de un color amarillo que es determinado espectrofotométricamente.

Equipo: Espectrofotómetro, longitud de onda 448 nm.

4.1.3. Nitrógeno total

Propósito: Determinar el contenido de nitrógeno total del mosto a través del método Kjeldahl.

Principio: Los compuestos nitrogenados del mosto son digeridos con una mezcla de ácidos en caliente, en la presencia de catalizadores para dar sulfato de amonio. La mezcla es alcalizada con una solución de hidróxido de sodio y el amonio liberado es destilado en un exceso de solución de ácido clorhídrico.

Equipo: Digestor Büchi, destilador.

4.1.4. Amino nitrógeno libre

Propósito: Determinar el contenido de amino nitrógeno libre de mosto usando un método espectrofotométrico. Este procedimiento entrega una estimación de los aminoácidos, amonio y grupos α -amino terminales de péptidos y proteínas.

Principio: La muestra de mosto y un estándar son calentados en la presencia de ninhidrina a pH 6,7; enseguida las absorbancias son medidas a 570 nm, contra un blanco de reactivos.

Equipo: Espectrofotómetro, baño de agua caliente.

4.1.5. Nitrógeno coagulable

Propósito: Determinar el contenido de nitrógeno coagulable del mosto, que principalmente está formado por proteínas de alto peso molecular. Aunque el contenido de nitrógeno coagulable es

muy pequeño en relación al nitrógeno total, se le atribuye participación en el cuerpo de la cerveza, la espuma y la estabilidad proteica.

Principio: Los compuestos nitrogenados coagulables son precipitados mediante cocción entre 105 y 108 °C. Una vez separados los compuestos coagulables, se cuantifica el contenido de nitrógeno a través del método Kjeldahl.

Equipo: Digestor Büchi, destilador, bomba de vacío.

4.1.6. Análisis de Calcio

Propósito: Determinación del contenido de calcio en muestra de mosto, por titulación con EDTA

Principio: El calcio precipita los fosfatos del mosto, reduciendo el pH, estabiliza a la α -amilasa e incrementa el nitrógeno α -amino del mosto y mejora la floculación de la levadura.

Reactivos principales: Hidróxido de sodio, ácido calconcarboxílico solución estándar de EDTA.

4.1.7. Análisis de Yodo

Propósito: La determinación del índice de yodo es una medida del grado de sacarificación del mosto.

Principio: Producto de alto peso molecular, proveniente de la degradación del almidón, el cual reacciona con la solución de yodo. La reacción se basa en la formación de un color característico al unir el almidón con el yodo (si se mantiene el color del yodo se obtuvo una buena sacarificación, si no se obtendrá un color negro el cual indica que todavía existen una gran cantidad de almidón que no ha sido transformado a azúcares fermentables).

Equipo: Espectrofotómetro, centrifuga, máquina de agitación

4.1.8. Análisis de amargor

Propósito: Determinar el contenido de amargor en el mosto, ya que se agregó lúpulo en el proceso de cocción del mosto.

Principio: La muestra de mosto con su duplicado es puesta en una centrifuga, luego se le agrega iso-octano y ácido clorhídrico y finalmente se dejan las muestras en una mesa vibratoria. Luego las muestras son leídas en el espectrofotómetro a una longitud de onda 275 nm.

Equipo: Centrifuga, mesa vibratoria, espectrofotómetro.

4.1.9. Análisis del color

Propósito: Determinar el color del mosto, que se ve principalmente afectado por el tostado de la malta y la adición de lúpulo en el cocedor.

Principio: La muestra de mosto es filtrada con tierra Diatomea para luego leerla en el espectrofotómetro con una longitud de onda de 430nm.

Equipo: Espectrofotómetro.

4.1.10. Análisis de concentración y densidad

Propósito: Determinar la concentración y la densidad del mosto, que se ve principalmente afectada por la cantidad de materia prima como la malta y el agua.

Principio: La muestra de mosto es filtrada para luego en el densímetro leer la densidad y con este valor se obtiene la concentración del mosto (°P).

Equipo: Densímetro.

4.1.11. Análisis de acidez

Propósito: Determinar la acidez del mosto, la cual debe bajar con el transcurso de la elaboración del mosto.

Principio: La muestra de mosto ambienta el electrodo del pHímetro antes de hacer la lectura, para luego medir la acidez del mosto.

Equipo: pHímetro.

4.2. Especificación de cocimiento del mosto

Antes de analizar el mosto después de la enfriadera, se realizaron diferentes análisis al mosto, esto es, antes de cocción y después de cocción, para tener presente qué indicadores se ven afectados en el cocedor de mosto. Terminadas estas pruebas sólo se enfocará en el mosto de la salida de la enfriadera. En la tabla N°5, N°6 y N°7 se entregan algunos indicadores de cocimiento de mosto con sus respectivos valores.

Mosto de cocedor en el traspaso de calmo a cocedor.

Indicador	Unidad	Promedio
DMS libre	$\mu\text{g/l}$	134
TBZ	Adimensional	19,1
N coagulable	mg/l	38
Color	EBC	4,8

Tabla N°5. Especificación de mosto antes de la cocción de éste.

Mosto de cocedor en el traspaso de cocedor a Whirlpool.

Indicador	Unidad	Promedio
DMS libre	$\mu\text{g/l}$	13,3
TBZ	Adimensional	30,2 [<45]
N coagulable	mg/l	23 [15-25]
Color	EBC	5,1

Tabla N°6. Especificación de mosto después de la cocción de éste.

Mosto final de la etapa de cocimiento, después de la enfriadera.

Indicador	Unidad	Valores
DMS total	$\mu\text{g/l}$	< 100
DMS libre	$\mu\text{g/l}$	[10-60]
DMS precursor	$\mu\text{g/l}$	[20-70]
TBZ	Adimensional	<60
FAN	mg/l	[180-200]
N total (12°P)	mg/l	[630-770]
N coagulable (12°P)	mg/l	[15-25]
Calcio	mg/l	> 70
Yodo	Adimensional	< 0,3
Amargor	IBU	[20-23]
Extracto	°Plato	[16,2-16,8]
Color	EBC	[7-9]
SG	Adimensional	Depende del extracto
Acidez	PH	[5-5,3]

Tabla N°7. Especificación de mosto después del enfriamiento.

4.3. Especificación de fermentación de la cerveza madura

Para que la cerveza sea traspasada a reposo en un TCC o bien comience el proceso de reposo en un UT, la cerveza fermentada debe cumplir con una serie de parámetros. En la tabla N°8 se muestran diferentes indicadores con sus respectivos parámetros.

Indicador	Unidad	Promedio
Extracto original	°P	16,5 ± 0,3
Grado de fermentación	%	83 ± 1,5
Diacetonas vecinales	ppm	< 0,20
Acidez	PH	4,05 - 4,45
Porcentaje de células muertas en levadura de sistema	%	< 6,00

Tabla N°8. Especificación de cerveza fermentada.

Especificación: cualquier valor por sobre la especificación de la cerveza fermentada, debe ser consultado con la jefatura correspondiente para su aprobación y se deberán tomar las acciones correctivas inmediatamente, las cuales deben quedar registradas.

Una vez en reposo, la cerveza debe permanecer como mínimo 5 días en éste proceso para luego ser filtrada. La elaboración de la cerveza desde su comienzo, partiendo en cocimiento hasta su final en el filtrado, no puede ocurrir en menos de 15 días.

4.4. Especificación de filtración de la cerveza final

Para que la cerveza sea filtrada debe cumplir con las especificaciones mostradas en la tabla N°9 donde se señalan estas especificaciones con sus respectivos parámetros de tolerancia, además se muestran las diferentes pintas.

Las abreviaturas que existen en la Tabla N°9 se explican a continuación: extracto (E), especificación (esp), tolerancia (tol), etiqueta (eti).

Indicador	Unidad	Pintas			
		Cristal	Escudo	Dorada	Morenita
E. original-esp.	°P	10,8–11,2	12,5-12,9	13,6-14	12,4-12,8
E. original-tol.	°P	10,8-11,3	12,5-13,0	13,6-14,1	12,4-12,9
Cont. alcohol eti.	% ^v / _v	4,6	5,5	6,0	5,3
Amargor esp.	IBU	14,0-18,0	17,0-21,0	13,5-17,5	17,0-21,0
Amargor tol.	IBU	13,0-19,0	16,0-22,0	12,0-18,0	16,0-22,0
Turbidez	EBC	<0,8	<0,8	<0,8	<2,5
Turbidez tol.	EBC	<1,0	<1,0	<1,3	<3,0
Color	EBC	6,5-8,0	9,5-11,8	12,2-14,5	120-140
Color tol.	EBC	6,0-8,5	9,0-12,0	12,0-15,0	110-150
Oxígeno total	ppm	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Oxígeno tol.	ppm	---	---	---	---
Acidez	PH	4,05-4,45	4,05-4,45	4,05-4,45	4,05-4,45
Acidez tol.	PH	3,95-4,55	0	0	3,95-4,55
E. aparente	°P	---	---	---	--

Tabla N°9. Especificación de cerveza filtrada.

Al igual que la especificación de la cerveza fermentada, cualquier valor por sobre la especificación de la cerveza filtrada debe ser consultado con la jefatura correspondiente para su aprobación, y se deberán tomar las acciones correctivas inmediatamente, las cuales deben quedar registradas.

5. Desarrollo plan de trabajo

Se comenzó con la recopilación de datos de toda una semana de los equipos más importantes para mi memoria, que son el calmo, cocedor, whirlpool y enfriadera de mosto. Analizando estos datos se obtuvieron bastantes conclusiones como por ejemplo: en la salida de la enfriadera se debe tener un volumen total de 700 hl de mosto, al tener un cocimiento con mayor volumen se tiene un cocimiento con menor concentración y viceversa. Si estuvo mayor tiempo en whirlpool, mayor cantidad de agua se evaporó, por tanto se tendrá un cocimiento con menor volumen y más concentrado. Los primeros cocimientos de la semana son los que consumen mayor cantidad de vapor en el cocedor ya que el estanque recuperador de energía se ha enfriado, entonces el calentamiento en el calmo es casi nulo, en consecuencia se consume mayor cantidad de vapor en la etapa de calentamiento lo que probablemente se encuentre con un cocimiento de menor volumen y más concentrado.

Se realiza una serie de análisis de mosto frío (salida enfriadera) sin ninguna intervención en el cocedor, si en general se realizan análisis de mosto para medir solamente la concentración y la acidez, este análisis al mosto tiene la intención de medir la cantidad de proteínas, nitrógenos, yodo, etc. Con esta serie de análisis se tendrá la información necesaria para saber cuáles son los valores del mosto que está entregando la etapa de cocimiento y que son la base de cualquier intervención que se realice en el cocedor o en cualquier otro equipo de cocimiento.

Se permite intervenir en el cocedor de mosto con una reducción de vapor en la etapa de ebullición, esto es reacomodando el consumo de los kg de vapor en los distintos pasos que se tienen en la ebullición del mosto, para intentar conseguir la misma calidad del mosto que se produce. Una vez obtenidos los resultados aceptables y de haber hecho más pruebas, se me permite realizar un ensayo completo con la intervención del cocedor de mosto.

5.1. Análisis general al cocedor de mosto

Se analizan todos los cocimientos de CM 4 de una semana, donde se propone interiorizarse del funcionamiento del cocedor para la producción de mosto. En la tabla N°10 se muestran algunos parámetros como el tiempo total de cocción, volumen fondo lleno, extracto, PH, evaporación total, etc.

Cocimiento	Calmo °C	Tiempo horas total	Tiempo minutos llegar 600 hl	Consumo/g vapor para 98°C	Tiempo minutos para 98°C	Consumo/g total vapor	Tiempo horas ebullición	Volumen fondo lleno hl	Volumen salida cocedor/hl	Volumen vahos/hl	Evaporación % total	°Plato	PH	Tiempo minutos descarga	Volumen salida enfridera hl
2683	20/81=61	2:39	23	2770	34	5970	1:17	780	746	34	4,36	16,67	5,29	25	695
2685	76/89=13	2:20	23	1616	20	4816	1:19	782	748	34	4,35	16,29	5,21	18	701
2687	75/90=15	2:16	23	1360	17	4560	1:18	785	749	36	4,59	16,27	5,25	18	703
2691	55/88=33	2:22	22	1363	17	4563	1:17	779	746	33	4,24	16,04	5,21	26	700
2693	74/90=16	23	1367	17	4567	1:18	786	748	38	4,83	16,32	5,21	19	700
2695	76/90=14	2:15	22	1342	16	4542	1:17	781	745	36	4,61	16,15	5,24	19	700
2698	71/90=19	2:15	22	1377	17	4577	1:18	783	749	34	4,34	16,06	5,21	18	702
2701	78/90=12	2:16	22	1318	16	4518	1:18	784	748	36	4,59	16,15	5,18	20	709
2706	60/87=27	2:18	22	1531	19	4731	1:18	789	757	32	4,06	16,3	5,18	19	706
2709	80/90=10	2:43	22	1261	17	4461	1:19	785	748	37	4,71	16,28	5,16	45	700
2712	74/88=15	2:18	22	1637	20	4837	1:18	785	748	37	4,71	16,36	5,23	18	700
2715	75/90=15	2:16	22	1447	18	4647	1:18	784	746	38	4,85	16,37	5,19	18	704
2718	76/89=13	2:18	22	1462	18	4662	1:18	781	746	35	4,48	16,41	5,21	20	700
2724	75/89=14	2:20	22	1482	18	4682	1:18	779	744	35	4,49	16,41	5,2	22	696

Tabla N°10. Resumen de una semana, mismo caldo madre (CM 4).

En la tabla número N°10 se muestra los diferentes cocimientos de una semana completa del CM 4, en donde se puede extraer que en el primer cocimiento de la semana se gastaron 2770 kg de vapor para alcanzar la temperatura de 98°C, esto se debe a que el agua que se encuentra en el estanque recuperador de energía no tenía la suficiente temperatura para calentar de buena forma el mosto en el calmo, ya que los fines de semana los estanques en general no están siendo ocupados y van tomando la temperatura del ambiente para estar en equilibrio con éste, es por esto que en el primer cocimiento siempre se gastará mayor energía para realizar el proceso. Mientras se pueda conseguir una buena recuperación de energía, se tendrá una mejor eficiencia en el llenado del cocedor, lo que acarreará un menor consumo de vapor para conseguir los 98°C (una vez alcanzado los 98°C, comienza la etapa de ebullición donde tiene que consumir una cuota fija de 3200 kg de vapor). El tiempo total que se tiene al cocedor ocupado es de alrededor de 2:20 horas, en promedio se tiene 23 minutos para llegar al nivel 600 hl, 18 minutos para llegar al punto de ebullición (98°C) con un fondo lleno en promedio de 780 hl, 1:18 horas para consumir los 3200 kg vapor en la etapa de ebullición y 21 minutos para vaciar el cocedor. Del tiempo total de proceso de calentamiento del mosto en el calmo no se tienen antecedentes (el sistema no lo mide), por esta razón y sabiendo que el llenado de mosto hacia el cocedor se realiza con un flujo constante, se puede realizar una regla de tres para saber el tiempo que se demora el cocedor en recibir los 780 hl aproximadamente de mosto (fondo lleno), dando como resultado un tiempo total aproximado de 30 minutos.

La evaporación total de agua debe estar en 4% y se tiene un promedio alrededor de 4,5 %, esto quiere decir que se está evaporando más de lo especificado por el fabricante. Esto se puede dar por tener un fondo lleno de aproximadamente de 780 hl, pudiendo tener una menor cantidad de mosto que entre en el proceso, pero para regular esto hay que tener presente todo el proceso que lo antecede (al tener una menor evaporación se tiene que hervir menos el mosto). Por otro lado, la contracción del volumen que se produce en la enfriadera de mosto, pasando de una temperatura de 97 a 12°C disminuye el volumen total de mosto en un 4%. El resultado que se espera de la etapa de cocimiento, es obtener a la salida de la enfriadera un volumen de 700 hl de mosto y una concentración de 16,5°P con una acidez que puede variar entre 5-5,3 de ph. El volumen que sale del cocedor y la enfriadera que muestra la tabla N°10 son en promedio alrededor de 747 hl y 700 hl respectivamente. Existen varias posibilidades para explicar esto, por ejemplo: se está contrayendo más del 4% del volumen total estipulado en la enfriadera de mosto, se está perdiendo materia a través de las líneas de producción, los drenajes son muy largos o pasa mucho tiempo el mosto en el whirlpool.

5.2. Análisis de mosto sin ninguna intervención

Una vez analizado el funcionamiento del cocedor, se dispuso a analizar el mosto del mismo caldo madre con tres cocimientos distintos, los cuales son: N°3222, N°3285, N°3403. Estos cocimientos pertenecen a la línea de producción N°1, esto se realiza para tener una mejor comparación y no confundirse con otras líneas de producción. Por cada cocimiento se realizan tres muestras, las cuales son:

Muestra N°1: análisis antes de la cocción.

Muestra N°2: análisis después de la cocción.

Muestra N°3: análisis después de la enfriadera.

Los resultados son expresados en las siguientes tablas.

N° cocimiento: 3222

Los análisis correspondientes de los distintos cocimientos sobre el DMS no se pudieron realizar por inconveniente internos, más adelante se realizarán análisis solamente para medir el DMS.

Nitrógeno total con duplicado

	Original consumo NaOH	Duplicado consumo NaOH	Promedio	N total mg/l	N 12°P mg/l
MUESTRA 1	18,10	18,40	18,25	945,47	687,71
MUESTRA 2	18,10	18,6	18,35	931,46	667,42
MUESTRA 3	18,00	19,3	18,65	889,44	646,95

Tabla N°11.1. Análisis nitrógeno total cocimiento N°3222.

*Especificación resultados nitrógeno total: los resultados son aceptables, pues el nitrógeno total normalizado a 12°Plato se encuentra entre 630-770 para la muestra 3. No se aprecia mayor variación entre las muestras.

Nitrógeno coagulable con duplicado

	Original consumo NaOH	Duplicado consumo NaOH	Promedio	N coagulable mg/l	N 12°P mg/l
MUESTRA 1	14,70	15,20	14,95	70,38	52,82
MUESTRA 2	22,30	22,80	22,55	17,15	12,28
MUESTRA 3	21,10	22,10	22,10	20,31	14,77

Tabla N°11.1.1. Análisis nitrógeno coagulable cocimiento N°3222.

*Especificación nitrógeno coagulable con triplicado: los resultados son levemente inferiores a la especificación.

Amino nitrógeno libre (FAN) mg/l

	BLANCO	GLICINA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
1	0,0710	0,5220	0,5020	0,5110	0,5790
2	0,0490	0,5330	0,4740	0,4760	0,5030
3	0,0340	0,5050	0,4710	0,4780	0,4870
PROMEDIO	0,0513	0,5200	0,4823	0,4883	0,5230
FAN ORIGINAL	NN	NN	183,91	186,47	201,28

Tabla N°11.2. Análisis FAN cocimiento N°3222.

*Especificación FAN: los resultados se encuentran dentro del margen establecido.

Ácido tiobarbitúrico (TBZ) con quintuplicado (adimensional)

	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
1	0,2930	0,5500	0,6080
2	0,2830	0,5840	0,6090
3	0,2800	0,5470	0,6040
4	0,2890	0,5540	0,6120
5	0,2850	0,5660	0,6170
PROMEDIO	0,2860	0,5602	0,6100
BLANCO	0,0160	0,033	0,0230
TBZ ORIGINAL	27,00	52,72	58,70

Tabla N°11.3. Análisis TBZ cocimiento N°3222.

*Especificación resultados TBZ: los resultados están superiores en la muestra 1 y 2, la muestra 3 esta levemente inferior del máximo establecido, recordar que la muestra más representativa

para la sala de cocimiento es la muestra 3. Se cuenta con un blanco patrón demasiado pequeño, lo que nos arroja según fórmula un TBZ muy elevado.

Amargor con duplicado

	Original IBU	Duplicado IBU	Promedio IBU
MUESTRA 1	1,510	1,398	1,454
MUESTRA 2	20,900	21,170	21,035
MUESTRA 3	21,980	22,180	22,080

Tabla N°11.4. Análisis amargor cocimiento N°3222.

*Especificación resultados amargor: los resultados se encuentran dentro del margen establecido, recordar que al cocedor se le agrega el lúpulo, por esta razón marca una gran diferencia la muestra 1 con respecto de las muestras 2 y 3.

Acidez (pH), °Plato (°P), densidad (SG), Color (EBC)

	pH	°P	SG	EBC
MUESTRA 1	5,38	15,75	1,06434	4,9070
MUESTRA 2	5,27	16,45	1,06735	7,0580
MUESTRA 3	5,23	16,22	1,06635	7,5690

Tabla N°11.5. Diferentes análisis cocimiento N°3222.

*Especificación resultados tabla N°11.5: los resultados del pH son los esperados, va disminuyendo según el aumento de la temperatura, esto se debe a la autoionización o autodisociación del agua, la cual es una reacción química entre dos moléculas de agua para producir un ion hidronio H_3O^+ y un ion hidróxido OH^- . Esto significa que la concentración del ion hidronio H_3O^+ es más alta y por lo tanto el pH es menor, aunque el nivel de hidróxido OH^- se incrementa en la misma cantidad se debería suponer que el agua siga siendo neutral. Con respecto al °P, aumenta en la salida del cocedor por la evaporación que se produce en ese equipo, de esta forma el mosto se hace más concentrado y la disminución de la salida del cocedor a la salida de la enfriadora se puede dar por la cantidad de trub que se quedó en el fondo del whirlpool. El color se encuentra dentro del margen y va en aumento.

Índice de yodo con duplicado (adimensional)

	Yodo (I)	Promedio
MUESTRA 1	0,1061	
MUESTRA 1	0,0702	0,088
MUESTRA 2	0,1936	
MUESTRA 2	-----	0,1936
MUESTRA 3	0,1007	
MUESTRA 3	0,0775	0,0891

Tabla N°11.6. Análisis yodo cocimiento N°3222.

*Especificación resultado yodo: los resultados del yodo son menores a 0,3 que es el valor límite que podría llegar a tener este análisis.

Índice de calcio

	Consumo EDTA	Multiplicación *12	Calcio mg/l
MUESTRA 1	2,81	12	33,72
MUESTRA 2	2,90	12	34,80
MUESTRA 3	5,99	12	71,88

Tabla N°11.7. Análisis calcio cocimiento N°3222.

*Especificación resultado calcio: los resultados del calcio son buenos y se encuentran dentro de lo esperado, no olvidar que en el equipo del whirlpool se le agrega el calcio. En la salida de enfriadera se tiene un mosto con una concentración superior a los 70 mg/l.

*Observaciones generales del cocimiento N°3222: fue un cocimiento normal respetando el tiempo en cada equipo. La temperatura del cocedor antes de recibir el mosto es de 76°C llegando a una temperatura de 90°C sin considerar la incorporación del vapor. Se tuvo un consumo de 1357 kg de vapor en la etapa de calentamiento haciendo un total de consumo de 4557 kg de vapor. Se obtuvo un fondo lleno de 800 hl y a la salida del cocedor un volumen de 767 hl esto nos arroja una evaporación total de 4,12%. Para que se cumpla una contracción del volumen por el cambio de temperatura en la enfriadera de un 4%, se tuvieron que haber perdido 19 hl entre la salida del cocedor y la salida del whirlpool, pues el volumen final de la enfriadera fue de 718 hl, esto quiere decir que a la enfriadera entraron 748 hl de mosto. El flujo de agua

fría para enfriar el mosto en la enfriadera fue de 800 hl/h y el flujo de mosto a enfriar fue de 846 hl/h demorándose alrededor de 55 minutos en el enfriamiento a una temperatura de 12°C.

N° cocimiento: 3285

Nitrógeno total con duplicado

	Original consumo NaOH	Duplicado consumo NaOH	Promedio	N total mg/l	N 12°P mg/l
MUESTRA 1	17,50	17,20	17,35	1071,53	788,73
MUESTRA 2	19,00	19,70	19,35	791,39	551,29
MUESTRA 3	17,10	18,00	17,55	1043,52	759,52

Tabla N°12.1. Análisis nitrógeno total cocimiento N°3285.

*Especificación resultados nitrógeno total: el resultado es aceptable para la muestra 3 pues el nitrógeno total normalizado a 12°P se encuentra entre 630-770, ahora para la muestra 1 y 2, se encuentra una gran diferencia entre ellas, esto se puede deber a un error del análisis por un exceso de consumo de NaOH en la titulación para ver cambiar el color. No se tiene una mayor explicación para lo ocurrido.

Nitrógeno coagulable con duplicado

	Original consumo NaOH	Duplicado consumo NaOH	Promedio	N coagulable mg/l	N 12°P mg/l
MUESTRA 1	-----	16,70	16,70	58,12	42,78
MUESTRA 2	23,50	23,50	23,50	10,5	7,31
MUESTRA 3	22,10	23,00	22,55	17,15	12,48

Tabla N°12.1.1. Análisis nitrógeno coagulable cocimiento N°3285.

*Especificación nitrógeno coagulable: los resultados de las muestras 2 y 3 son bajos con respecto a la especificación.

Amino nitrógeno libre (FAN) con triplicado (mg/l)

	BLANCO	GLICINA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
1	0,0100	0,4620	0,7920	0,4990	0,4650
2	0,0100	0,4620	0,7020	0,4980	0,4710
3	0,0090	0,4520	0,6560	0,4970	0,4680
PROMEDIO	0,0096	0,4586	0,7166	0,4980	0,4680
FAN ORIGINAL	NN	NN	314,92	217,55	204,18

Tabla N°12.2. Análisis FAN cocimiento N°3285.

*Especificación nitrógeno amino libre (FAN): los resultados se encuentran levemente superior a la especificación.

Ácido tiobarbitúrico (TBZ) con quintuplicado (adimensional)

	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
1	0,3000	0,5940	0,7270
2	0,3040	0,5850	0,7250
3	0,3030	0,5970	0,7290
4	0,3060	0,5940	0,7250
5	0,3050	0,5940	0,7330
PROMEDIO	0,3036	0,5928	0,7278
BLANCO	0,0200	0,023	0,0240
TBZ ORIGINAL	28,36	56,98	70,38

Tabla N°12.3. Análisis TBZ cocimiento N°3285.

*Especificación resultados TBZ: los resultados están superiores en todas las muestras. Se cuenta con un blanco patrón demasiado pequeño, lo que nos arroja según fórmula un TBZ muy elevado. Además, como el mosto estuvo un tiempo extra en el whirlpool, se espera que aumente la carga térmica del mosto.

Amargor con duplicado

	Original IBU	Duplicado IBU	Promedio IBU
MUESTRA 1	1,513	2,073	1,793
MUESTRA 2	20,62	21,85	21,235
MUESTRA 3	21,14	21,12	21,130

Tabla N°12.4. Análisis amargor cocimiento N°3285.

*Especificación resultados amargor: los resultados se encuentran dentro del margen establecido.

Acidez (pH), °Plato (°P), densidad (SG), Color (EBC)

	pH	°P	SG	EBC
MUESTRA 1	5,28	16,04	1,06557	6,754
MUESTRA 2	5,23	16,89	1,06927	9,097
MUESTRA 3	5,11	16,21	1,06631	9,067

Tabla N°12.5. Diferentes análisis cocimiento N°3285.

*Especificación resultados tabla N°12.5: los resultados del pH son aceptados al igual que la concentración (°P), solamente el color se encuentra levemente superior al máximo establecido.

Índice de yodo con duplicado (adimensional)

	Yodo (I)	Promedio
MUESTRA 1	0,1445	
MUESTRA 1	0,1445	0,1445
MUESTRA 2	0,1676	
MUESTRA 2	-----	0,1676
MUESTRA 3	0,1176	
MUESTRA 3	0,0965	0,1071

Tabla N°12.6. Análisis yodo cocimiento N°3285.

*Especificación resultado yodo: los resultados del yodo son menores a 0,3 que es el valor límite que podría llegar a tener este análisis.

Índice de calcio

	Consumo EDTA	Multiplicación *12	Calcio mg/l
MUESTRA 1	3,12	12	37,44
MUESTRA 2	3,23	12	38,76
MUESTRA 3	6,42	12	77,04

Tabla N°12.7. Análisis calcio cocimiento N°3285.

*Especificación resultado calcio: en la salida de enfriadera que es representada por la muestra 3 tiene una especificación superior a los 70 mg/l.

*Observaciones generales del cocimiento N°3285: fue un cocimiento normal a excepción de los 26 minutos que estuvo el whirlpool esperando la enfriadera una vez terminado su proceso, esto puede explicar el aumento del color del mosto, por un efecto de oscurecimiento de éste, al estar más tiempo en whirlpool. La temperatura del cocedor antes de recibir el mosto es de 77°C llegando a una temperatura de 90°C sin la consideración del vapor. Se tuvo un consumo de 1741 kg de vapor en la etapa de calentamiento (la temperatura de calentamiento para pasar a los pasos de ebullición fue de 99°C en vez de los 98°C, provocando un aumento considerable de vapor en el calentamiento) haciendo un total de consumo de 4941 kg de vapor. Se obtuvo un fondo lleno de 783 hl y a la salida del cocedor un volumen de 744 hl, esto nos arroja una evaporación total de 4,98%. Para que se cumpla una contracción del volumen por el cambio de temperatura en la enfriadera de un 4% se tuvieron que haber perdido 7 hl entre la salida del cocedor y la salida del whirlpool, pues el volumen final de la enfriadera fue de 708 hl, esto quiere decir que a la enfriadera entraron 737 hl de mosto (para mantener el 4% de compresión del volumen). El flujo de agua fría para enfriar el mosto en la enfriadera fue de 750 hl/h y el flujo de mosto a enfriar fue de 804 hl/h, demorándose alrededor de 1:23 horas en el enfriamiento a una temperatura de 12°C (se considera el tiempo extra que se estuvo esperando la enfriadera de 26 min).

N° cocimiento: 3404

Nitrógeno total con duplicado

	Original consumo NaOH	Duplicado consumo NaOH	Promedio	N total mg/l	N 12°P mg/l
MUESTRA 1	16,40	18,00	17,20	1092,54	786,90
MUESTRA 2	16,70	17,20	16,95	1127,56	790,45
MUESTRA 3	18,10	17,50	17,80	1008,50	721,22

Tabla N°13.1. Análisis nitrógeno total cocimiento N°3404.

*Especificación resultados nitrógeno total: los resultados son aceptables, pues el nitrógeno total normalizado a 12°P se encuentra entre 630-770 para la muestra 3.

Nitrógeno coagulable con duplicado

	Original consumo NaOH	Duplicado consumo NaOH	Promedio	N coagulable mg/l	N 12°P mg/l
MUESTRA 1	14,30	15,30	14,80	71,43	51,45
MUESTRA 2	22,50	22,50	22,50	17,50	12,29
MUESTRA 3	22,70	23,20	22,95	14,35	10,26

Tabla N°13.1.1. Análisis nitrógeno coagulable cocimiento N°3404.

*Especificación nitrógeno coagulable: los resultados son inferiores a la especificación.

Amino nitrógeno libre (FAN) con triplicado (mg/l)

	BLANCO	GLICINA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
1	0,0230	0,4670	0,5340	0,5290	0,5160
2	0,0190	0,4630	0,5310	0,5260	0,5100
3	0,0190	0,4720	0,5540	0,5390	0,5110
PROMEDIO	0,0200	0,4673	0,5396	0,5313	0,5123
FAN ORIGINAL	NN	NN	232,32	228,61	220,12

Tabla N°13.2. Análisis FAN cocimiento N°3404.

*Especificación nitrógeno amino libre (FAN): los resultados se encuentran sobre la especificación.

Ácido tiobarbitúrico (TBZ) con quintuplicado (adimensional)

	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
1	0,2600	0,4870	0,5900
2	0,2580	0,5010	0,5910
3	0,2570	0,4950	0,5880
4	0,2560	0,4930	0,5910
5	0,2510	0,4920	0,5880
PROMEDIO	0,2564	0,4936	0,5896
BLANCO	0,0170	0,021	0,0200
TBZ ORIGINAL	23,94	47,26	56,96

Tabla N°13.3. Análisis TBZ cocimiento N°3404.

*Especificación resultados TBZ: los resultados de todas las muestras son aceptados teniendo en consideración que se tendrían que bajar.

Amargor con duplicado

	Original IBU	Duplicado IBU	Promedio IBU
MUESTRA 1	1,46	1,72	1,59
MUESTRA 2	21,36	21,04	21,2
MUESTRA 3	20,42	20,75	20,58

Tabla N°13.4. Análisis amargor cocimiento N°3404.

*Especificación resultados amargor: los resultados se encuentran dentro del margen establecido.

Acidez (pH), °Plato (°P), densidad (SG), Color (EBC)

	pH	°P	SG	EBC
MUESTRA 1	5,40	16,37	1,06703	5,802
MUESTRA 2	5,29	16,79	1,06886	8,168
MUESTRA 3	5,26	16,48	1,06748	9,033

Tabla N°13.5. Diferentes análisis cocimiento N°3404.

*Especificación resultados tabla N°13.5: los resultados son los esperados, solamente que el color se encuentra levemente sobre el máximo establecido.

Índice de yodo con duplicado (adimensional)

	Yodo (I)	Promedio
MUESTRA 1	-----	-----
MUESTRA 1	0,0345	0,0345
MUESTRA 2	0,1353	
MUESTRA 2	0,0560	0,0956
MUESTRA 3	0,0645	
MUESTRA 3	0,0280	0,0462

Tabla N°13.6. Análisis yodo cocimiento N°3404.

*Especificación resultado yodo: los resultados del yodo son menores a 0,3 que es el valor límite que podría llegar a tener este análisis.

Índice de calcio

	Consumo EDTA	Multiplicación *12	Calcio mg/l
MUESTRA 1	3,46	12	41,52
MUESTRA 2	6,01	12	72,12
MUESTRA 3	7,84	12	94,08

Tabla N°13.7. Análisis calcio cocimiento N°3404.

*Especificación resultado calcio: en la salida de enfriadera que es representada por la muestra 3 tiene una especificación superior a los 70 mg/l.

*Observaciones generales del cocimiento N°3404: fue un cocimiento normal a excepción de los 10 minutos extra que se demoró el llenado del cocedor y los 13 minutos extra que se demoró en el traspaso a whirlpool. La temperatura del cocedor antes de recibir el mosto fue de 80°C llegando a una temperatura de 90°C en el traspaso sin considerar la incorporación del vapor. Se tuvo un consumo de 1220 kg de vapor en la etapa de calentamiento haciendo un total de consumo de 4420 kg de vapor. Se obtuvo un fondo lleno de 795 hl y a la salida del cocedor un volumen de 758 hl, esto nos arroja una evaporación total de 4,65%. Para que se cumpla una contracción del volumen por el cambio de temperatura en la enfriadera de un 4% se tuvieron que haber perdido 27 hl entre la salida del cocedor y la salida del whirlpool, pues el volumen final de la enfriadera fue de 702 hl, esto quiere decir que a la enfriadera entraron 731 hl de mosto. El flujo de agua fría para enfriar el mosto en la enfriadera fue de 800 hl/h y el flujo de mosto a enfriar fue de 827 hl/h demorándose alrededor de 54 minutos el enfriamiento a una temperatura de 12°C.

Análisis especial solamente DMS

Sabiendo que el cocedor cumple con los indicadores correspondientes, excepto con el DMS porque no se midieron, se realizan diferentes pruebas solamente para analizar el DMS a la salida de la enfriadera.

N° cocimiento: 3950

Dimetil sulfuro (DMS) total con duplicado

	Original µg/l	Duplicado µg/l	Promedio µg/l
MUESTRA	29,0	29,0	29,0

Tabla N°14.1. Análisis DMS total cocimiento N°3950.

Dimetil sulfuro (DMS) libre con duplicado

	Original µg/l	Duplicado µg/l	Promedio µg/l
MUESTRA	22,9	22,7	22,8

Tabla N°14.2. Análisis DMS libre cocimiento N°3950.

Dimetil sulfuro (DMS) precursor

	Promedio µg/l
MUESTRA	6,2

Tabla N°14.3. Análisis DMS precursor cocimiento N°3950.

***Explicación resultados DMS:** el DMS total es inferior a 100 µg/l, el DMS libre se encuentra dentro del parámetro y el DMS precursor está por debajo del parámetro establecido en la especificación. En conclusión se puede decir que la malta utilizada trae una baja concentración de DMS o la cocción es eficiente para la liberación del DMS. Se sospecha que al disminuir la cantidad de vapor en el cocedor, se podrían conseguir de igual forma la especificación para el DMS.

N° cocimiento: 3952

Dimetil sulfuro (DMS) total con duplicado

	Original µg/l	Duplicado µg/l	Promedio µg/l
MUESTRA	39,2	39,4	39,3

Tabla N°15.1. Análisis DMS total cocimiento N°3952.

Dimetil sulfuro (DMS) libre con duplicado

	Original µg/l	Duplicado µg/l	Promedio µg/l
MUESTRA	35,6	35,6	35,6

Tabla N°15.2. Análisis DMS libre cocimiento N°3952.

Dimetil sulfuro (DMS) precursor

	Promedio µg/l
MUESTRA	3,7

Tabla N°15.3. Análisis DMS precursor cocimiento N°3952.

***Explicación resultados DMS:** los resultados cumplen con la especificación.

N° cocimiento: 3963

Dimetil sulfuro (DMS) total con duplicado

	Original µg/l	Duplicado µg/l	Promedio µg/l
MUESTRA	50,0	50,0	50,0

Tabla N°16.1. Análisis DMS total cocimiento N°3963.

Dimetil sulfuro (DMS) libre con duplicado

	Original µg/l	Duplicado µg/l	Promedio µg/l
MUESTRA	37,4	37,6	37,5

Tabla N°16.2. Análisis DMS libre cocimiento N°3963.

Dimetil sulfuro (DMS) precursor

	Promedio µg/l
MUESTRA	12,5

Tabla N°16.3. Análisis DMS precursor cocimiento N°3963.

***Explicación resultados DMS:** los resultados cumplen con la especificación.

5.3. Distribución de los flujos de vapor en la ebullición

Como se mencionó anteriormente en el capítulo N° 2.2, donde se habla de los flujos de vapor según la receta del cocedor, se menciona la distribución de vapor en los diferentes pasos y se hace una indicación que se gasta más vapor en algunos pasos y resta vapor en otros, se realizan dos pruebas para ajustar de mejor forma el consumo de vapor y así buscar la posibilidad de bajar el valor de DMS: la primera de ella consiste en hacer funcionar el cocedor según la receta determinada y la otra prueba se realiza según se estime conveniente para disminuir el DMS. Se busca la mejor distribución del consumo de vapor en el cocedor con la intención de bajar la concentración del DMS en la cocción y de esta forma poder reducir el consumo de kg de vapor en este equipo (se sabe que al disminuir la tasa de evaporación aumentaría el DMS)

Primera prueba: hacer que el consumo de vapor se cumpla en cada paso de la mejor manera como lo indica la receta. Se realizará la siguiente modificación en la receta sólo para este cocimiento N°4012.

Pasos	Función	Receta original	Receta modificada
4. Ebullición	Tiempo de paso	0 min	0 min
	Máximo tiempo hervir	90 min	90 min
	Cantidad total vapor	3200 kg	3200 kg
4.1.Hervir sin presión	Tiempo de fase	10 min	10 min
	Flujo de vapor	2500 kg/h	2100 kg/h
	Cantidad de vapor	350 kg	350 kg
	Velocidad bomba de mosto	90 %	90 %
	Sub-fase termina	Tiempo + cantidad	Tiempo + cantidad
	Toma muestra	No	No
4.2.Subir presión	Tiempo de fase	15 min (10)	15 min (10)
	Flujo de vapor	3945 kg/h	3945 kg/h
	Velocidad bomba de mosto	90 %	90 %
	Presión válvula 1	150 mbar	150 mbar
	Presión válvula 2	150 mbar	150 mbar
	Toma muestra	No	No
4.3.Hervir con presión	Tiempo de fase	30 min	30 min
	Flujo de vapor	2500 kg/h	2100 kg/h
	Cantidad de vapor	1050 kg	1050 kg
	Velocidad bomba de mosto	90 %	90 %
	Presión válvula 1	150 mbar	150 mbar
	Presión válvula 2	150 mbar	150 mbar
	Sub-fase termina	Tiempo + cantidad	Tiempo + cantidad
	Toma muestra	No	No

Pasos	Función	Receta original	Receta modificada
4.4.Relajación de presión	Flujo de vapor	575 kg/h	575 kg/h
	Velocidad bomba de mosto	90 %	90 %
	Rampa	0.27 %/s	0.27 %/s
	Toma muestra	No	No
4.5.Hervir sin presión	Tiempo de fase	20 min	20 min
	Flujo de vapor	2500 kg/h	2100 kg/h
	Cantidad de vapor	700 kg	700 kg
	Velocidad bomba de mosto	90 %	90 %
	Sub-fase termina	Tiempo + cantidad	Tiempo + cantidad
5. Enjuague	Tiempo de paso	5 min	5 min
	Tiempo retraso vacío	<u>10 s</u>	<u>10 s</u>
	Cantidad agua de enjuague	15 hl	15 hl
	Velocidad bomba de mosto	95 %	95 %

Tabla N°17. Receta cocedor modificada.

El consumo de vapor se ajusta de buena medida según receta, se demora alrededor de 4 minutos adicionales por la modificación de los flujos de vapor en la receta y en el último paso de ebullición, el hervir sin presión, se consume todo el vapor restante por defecto que debe ser alrededor de 1090 kg de vapor. Los resultados del DMS se muestran en las siguientes tablas.

N° cocimiento: 4012

Dimetil sulfuro (DMS) total con duplicado

	Original µg/l	Duplicado µg/l	Promedio µg/l
MUESTRA	62,4	62,4	62,4

Tabla N°18.1. Análisis DMS total cocimiento N°4012.

Dimetil sulfuro (DMS) libre con duplicado

	Original µg/l	Duplicado µg/l	Promedio µg/l
MUESTRA	32,4	32,6	32,5

Tabla N°18.2. Análisis DMS libre cocimiento N°4012.

Dimetil sulfuro (DMS) precursor

	Promedio µg/l
MUESTRA	29,9

Tabla N°18.3. Análisis DMS precursor cocimiento N°4012.

En la siguiente tabla se muestra el consumo de vapor por cada paso.

Pasos	Consumo vapor
Hervir sin presión	350
Subir presión	660
Hervir con presión	1050
Relajación de presión	40
Hervir sin presión	1100
Vapor total kg	3200

Tabla N°18.4. Consumo de vapor por pasos en una primera prueba.

*Explicación resultados DMS: los resultados cumplen con la especificación, pero aumenta el DMS sin variar el consumo de vapor, esto se explica porque se reduce la cantidad de vapor en el primer paso, hervir sin presión, donde debería ser el principal paso para la eliminación del DMS. El segundo paso lo realiza normalmente. El tercer paso lo realiza con una disminución en el flujo, pero no se cree que ésta sería la causa del aumento del DMS. La relajación la realiza normalmente y el último paso aumenta el consumo de vapor en un 55% según la receta. Fue una prueba que nos ayuda a entender de mejor forma posible el funcionamiento del cocedor según el DMS, pero no cumple con el propósito de poder efectuar una disminución del consumo de vapor.

Segunda prueba: esta prueba es más arriesgada y propone lo siguiente. Una vez alcanzada la temperatura de ebullición, se sube la presión interna del cocedor hasta los 100 mbar. Luego de consumir la cantidad de vapor establecida en receta (350 kg. vapor) se sube la presión interna hasta los 150 mbar, una vez que se consiga esta presión, la cocción sigue su proceso normal. En resumen el primer paso, hervir sin presión, se cambia por hervir con presión interna de 100 mbar. Esta prueba se realiza al cocimiento N°4033.

N° cocimiento: 4033

Dimetil sulfuro (DMS) total con duplicado

	Original µg/l	Duplicado µg/l	Promedio µg/l
MUESTRA	62,2	62,3	62,3

Tabla N°19.1. Análisis DMS total cocimiento N°4033.

Dimetil sulfuro (DMS) libre con duplicado

	Original µg/l	Duplicado µg/l	Promedio µg/l
MUESTRA	38,9	38,8	38,9

Tabla N°19.2. Análisis DMS libre cocimiento N°4033.

Dimetil sulfuro (DMS) precursor

	Promedio µg/l
MUESTRA	23,4

Tabla N°19.3. Análisis DMS precursor cocimiento N°4033.

*Explicación resultados DMS: los resultados cumplen con la especificación, pero aumenta el DMS sin variar el consumo de vapor. Disminuye el consumo de vapor en la etapa de calentamiento, existe un aumento de la recuperación de energía gracias a una mayor cantidad de vahos, pero no se busca esto en esta prueba, por tanto no sirve para mantener un patrón en la reducción de vapor en el cocedor de mosto.

5.4. Análisis de mosto con intervención

Sabiendo que los cocimientos N° 3950, 3952, 3963 cumplen de mejor forma con el DMS en comparación con los cocimientos N° 4012 y 4033, se realizan las intervenciones en el cocedor para ver la posibilidad de reducir el consumo de vapor en este equipo, para esto nos enfocaremos nuevamente en el indicador de DMS y ahora agregamos el TBZ. Por una razón de disponibilidad del laboratorio de físico-química y por el tiempo necesario para realizar un análisis completo al mosto, (más adelante se realizará un ensayo completo al mosto y posteriormente a la cerveza terminada) nos enfocaremos sólo al DMS y TBZ porque son los dos indicadores que se verían mayormente afectados por la reducción del consumo de vapor. En el caso del DMS, al tener una ebullición reducida, podría quedar una cantidad considerable dentro del mosto perjudicando el sabor y olor de la cerveza. En el caso del TBZ debería disminuir, ya que mientras más tiempo se hierve el mosto, mayor es el valor del TBZ, además es un indicador de estabilidad del sabor de la cerveza.

Son tres pruebas las que se realizaron, los cocimientos N° 4385, 4391 y por último después de una semana el 4574, cada uno de estos cocimientos se fermentó en diferentes UT, para que no se fermenten dos pruebas en un sólo UT, por una razón de protección del

producto, hasta cuando se tenga la certeza que se pueda reducir la cantidad de vapor, sin que la calidad de la cerveza se vea afectada. La variación de la receta la muestra la tabla N°20.

Pasos	Función	Receta original	Receta modificada
4. Ebullición	Tiempo de paso	0 min	0 min
	Máximo tiempo hervir	90 min	90 min
	Cantidad total vapor	3200 kg	2700 kg
4.1. Hervir sin presión	Tiempo de fase	10 min	7 min
	Flujo de vapor	2500 kg/h	3945 kg/h
	Cantidad de vapor	350 kg	460 kg
	Velocidad bomba de mosto	90 %	90 %
	Sub-fase termina	Tiempo + cantidad	Tiempo + cantidad
	Toma muestra	No	No
4.2. Subir presión	Tiempo de fase	15 min (10)	15 min (7)
	Flujo de vapor	3945 kg/h	3945 kg/h
	Velocidad bomba de mosto	90 %	90 %
	Presión válvula 1	150 mbar	150 mbar
	Presión válvula 2	150 mbar	150 mbar
	Toma muestra	No	No
4.3. Hervir con presión	Tiempo de fase	30 min	30 min
	Flujo de vapor	2500 kg/h	2000 kg/h
	Cantidad de vapor	1050 kg	1000 kg
	Velocidad bomba de mosto	90 %	90 %
	Presión válvula 1	150 mbar	150 mbar
	Presión válvula 2	150 mbar	150 mbar
	Sub-fase termina	Tiempo + cantidad	Tiempo + cantidad
4.4. Relajación de presión	Toma muestra	No	No
	Flujo de vapor	575 kg/h	575 kg/h
	Velocidad bomba de mosto	90 %	90 %
	Rampa	0.27 %/s	0.27 %/s
4.5. Hervir sin presión	Toma muestra	No	No
	Tiempo de fase	20 min	20 min
	Flujo de vapor	2500 kg/h	2000 kg/h
	Cantidad de vapor	700 kg	600 kg
	Velocidad bomba de mosto	90 %	90 %
5. Enjuague	Sub-fase termina	Tiempo + cantidad	Tiempo + cantidad
	Tiempo de paso	5 min	5 min
	Tiempo retraso vacío	<u>10 s</u>	<u>10 s</u>
	Cantidad agua de enjuague	15 hl	15 hl
	Velocidad bomba de mosto	95 %	95 %

Tabla N°20. Receta cocedor con disminución del consumo vapor.

El consumo de vapor se ajustó de buena forma por cada paso, se demora menos tiempo en subir la presión ya que el paso anterior, hervir sin presión, lo realiza al mismo flujo de 3950 kg/h, de igual forma sobran 90 kg de vapor en el último paso hervir sin presión, el cual debería consumir 600 kg de vapor solamente y no 690, pero esto sucede porque se debe cumplir con un consumo total de 2700 kg de vapor. En la siguiente tabla se muestra los resultados de DMS y TBZ.

Cocimientos	DMS total µg/l	DMS libre µg/l	DMS precursor µg/l	TBZ
4385	78,2	52,8	25,4	50,2
4391	74,6	45,4	29,2	49,3
4574	150,4	99,9	50,5	50,1

Tabla N°21. Resultados del DMS y TBZ con disminución de vapor.

*Explicación resultados DMS: las primeras dos pruebas cumplen con la especificación, pero la última está sobre la especificación del DMS. De igual forma al aumentar mayor cantidad de vapor en el primer paso y disminuir vapor en el último paso, los valores de DMS mejoran en comparación a los cocimientos N° 4012 y 4033, teniendo además una disminución en el consumo de vapor.

6. Ensayo de tres cocimientos consecutivos

Antes de realizar este ensayo, se modificó el sensor de temperatura del estanque recuperador de energía de 88 a 93,5°C, con esto se consigue obtener una mayor recuperación de energía, ya que el condensador de vahos funcionaba siempre y cuando el sensor inferior de temperatura marcara una temperatura inferior a los 88°C. Esto permite tener un perfil de temperatura de aprox. de 98 a 88°C dentro del estaque. Habitualmente se dejaba de recuperar energía con el condensador de vahos al termino del paso hervir con presión (4.3 de los pasos del cocedor de mosto), porque la temperatura de la parte inferior del estanque recuperador de energía superaba los 88°C. Entonces ahora, con la variación del límite del sensor inferior de temperatura, se permite obtener una mejor recuperación de energía, en casi todos los cocimientos posteriores a este cambio. El funcionamiento del condensador se realiza en todo el proceso de cocción, por tanto al tener la misma cantidad de agua pero más caliente para calentar el mosto, se pueden obtener temperaturas mayores de la corriente de mosto a la salida del calmo, es por esto que se modifica en la programación la temperatura del mosto a la salida del calmo a 94°C y no 92°C como se tenía habitualmente.

Gracias a los resultados de DMS de los cocimientos N° 4385 y 4391, se gestiona la posibilidad de realizar un ensayo con una reducción de vapor para el llenado de un TCC. Este ensayo es bastante arriesgado desde el punto de vista del producto, ya que se propone el llenado de un estanque fermentador sólo con cocimientos con una reducción del consumo de vapor. Se tiene que tener bastante confianza en los resultados de los análisis de mosto para permitir este ensayo, el cual fue denominado ensayo "Rolph". Lo que se pretende con el llenado de un TCC sólo con cocimientos que tengan una reducción del consumo de vapor en el cocedor de mosto, es poder hacer un análisis completo del proceso de elaboración de la cerveza, esto es, analizar el proceso de fermentación del TCC, seguido del reposo del TR, para posteriormente analizar el DT. Con todos estos análisis el mosto y posteriormente la cerveza, se podría concluir si realmente es posible tener una disminución del consumo de vapor en el cocedor de mosto. Los cocimientos que corresponden al ensayo "Rolph" son los siguientes: N°4577, N°4580, N°4583.

Se analiza cada cocimiento por separado, cuánto tiempo demoró el llenado del cocedor de mosto, el tiempo de ebullición, cantidad de vapor en el calentamiento, etc. Además se analizarán los distintos indicadores de mosto a la salida de la enfriadera, para posteriormente realizar el llenado al TCC N°63. Luego se hará un seguimiento a la fermentación esperando que se demore alrededor de 7 a 8 días, que es lo esperado para este proceso. Posteriormente a esto, se mantendrá la cerveza en reposo el tiempo necesario para que esté lista para su filtrado y esto lo determina el análisis de reposo, por lo general son 5 días de reposo. Es necesario hacer también un análisis microbiológico para asegurarnos que la cerveza del ensayo cumple con todas las normativas vigentes para su envasado y posteriormente su consumo humano, no olvidar que la cerveza es una bebida alcohólica y necesariamente tiene que cumplir con las normativas establecidas. Luego de realizar el análisis microbiológico y sabiendo que cumple con la calidad, se filtra y se envasa.

6.1. Análisis de los cocimientos mosto frío

En la tabla N°22 se muestran: los tiempos de llenado para alcanzar los 600 hl de mosto dentro del cocedor, la temperatura del cocedor que se alcanza a la salida del calmo, el tiempo que se demora el mosto en alcanzar los 98°C, el tiempo total de ebullición, el tiempo total de la cocción, tiempo de traspaso al whirlpool una vez terminada la cocción del mosto y el tiempo total de ocupación del whirlpool. Los tres cocimientos tienen casi el mismo comportamiento entre sí, ya sea por la recuperación de energía que se ve refleja con la temperatura del mosto alcanzada a la salida del calmo, como también el tiempo que se ocuparon los distintos equipos.

Cocimientos	Tiempo llenado 600 hl minutos	T°C antes vapor	Tiempo alcanzar 98°C	Tiempo ebullición minutos	Tiempo total cocción horas	Tiempo traspaso whirlpool minutos	Tiempo total whirlpool horas
4577	49	93,2	18	72	2:38:00	19	1:45:25
4580	48	93,2	17	72	2:36:00	19	1:44:53
4583	48	93,5	17	71	2:35:00	19	1:48:34

Tabla N°22. Tiempo y temperatura ensayo "Rolph".

En la tabla N°23 se observa una disminución de alrededor de 500 kg de vapor en el calentamiento del mosto en el cocedor para conseguir los 98°C en comparación con el

consumo habitual que se tiene, esto se debe a la modificación del sensor inferior de temperatura del estanque recuperador de energía.

Cocimientos	Cantidad vapor para alcanzar 98°C	Cantidad vapor ebullición kg	Cantidad vapor total kg
4577	844	2700	3544
4580	776	2700	3476
4583	818	2700	3518

Tabla N°23. Consumo de vapor en los cocimientos de ensayo “Rolph”.

Teniendo al cocedor con mayor tiempo en la recuperación de energía, se produce lo que se sospechaba un aumento de los valores del DMS. En la tabla N°24 se muestran los distintos valores del DMS para su respectivo cocimiento.

Cocimientos	Total µg/l	Libre µg/l	Precursor µg/l
4577	196	103,3	92,7
4580	92,3	67,4	24,9
4583	63,7	44,6	19,1

Tabla N°24. DMS en los cocimientos del ensayo “Rolph”.

Observaciones: En el cocimiento N°4577 se obtuvo un DMS sobre la especificación, el cocimiento N° 4580 no se obtuvo el análisis, y por último el cocimiento N°4583 cumple con la especificación del DMS. Cabe mencionar que este análisis es bastante delicado realizarlo, ya sea tomando las muestras, como mantenerlo en condiciones óptimas para su análisis, el cual se trabaja con un Cromatógrafo de gases. Habrá que esperar el comportamiento que se tenga en la fermentación, ya que no es claro el análisis del DMS.

El análisis de los diferentes nitrógenos analizado se muestra en la tabla N°25.

Cocimientos	Nitrógeno total mg/l	Nitrógeno total 12°P mg/l	Nitrógeno coagulable mg/l	Nitrógeno coagulable 12°P mg/l
4577	840	602	11	8
4580	924	671	18	13
4583	910	656	19	14

Tabla N°25. Nitrógeno de los cocimientos del ensayo “Rolph”.

Los resultados de los nitrógenos del cocimiento N°4577 están por debajo de la especificación, y sobre los otros dos cocimientos el nitrógeno total se encuentran levemente sobre el límite inferior establecido, y el nitrógeno coagulable se encuentra por debajo de la especificación. Cabe mencionar que no es tan complicado tener el nitrógeno coagulable, sino que, al tener el nitrógeno total bajo se tiene un problema en la fermentación y posiblemente en la espuma de la cerveza.

Otros análisis del mosto se muestran en la tabla N°26.

Cocimientos	FAN	TBZ	Volumen hl	°P	pH	% evaporación
4577	192	57	708	16,45	5,23	4,32
4580	193	54	701	16,25	-----	3,94
4583	193	53	713	16,31	5,20	4,15

Tabla N°26. FAN, TBZ, volumen, °P, pH y evaporación en los cocimientos ensayo “Rolph”.

En general los análisis expresados en la tabla N°26 son bastante buenos, obteniendo una baja evaporación total en comparación con el promedio de la sala de cocimiento, lo ideal es tener una tasa de evaporación de un 4% según el fabricante Stromboli. Los demás indicadores se aceptan porque están dentro de la especificación correspondiente.

Conclusión del ensayo: los valores de los distintos indicadores se aceptan, excepto los del DMS, ya que éste podría traer complicaciones en la fermentación. El funcionamiento del cocedor del mosto se realizó sin ningún inconveniente en el proceso, la recuperación de energía se realizó en la cocción del mosto.

6.2. Análisis de la fermentación del TCC N°63

El llenado del TCC con los tres cocimientos es realizado en un tiempo aproximado de 10 horas. Una vez que se haya llenado el TCC con los tres cocimientos, empieza el proceso de fermentación. En la tabla N°27 se muestran las condiciones de operaciones en que estuvo el mosto fermentado, donde el turno A corresponde al día, el turno B a la tarde y el turno C a la noche.

14-12-12			
turno	T (°C)	P (bar)	Grado plato
C	aseo	cip	
A	recibe	mosto	
B	12		16,34

Primer día

18-12-12			
turno	T (°C)	P (bar)	Grado plato
C	13,6	1,4	7,0
A	14,4	1,4	6,2
B	15,5	1,4	5,3

Quinto día

15-12-12			
turno	T (°C)	P (bar)	Grado plato
C	12	0,4	15,4
A	12	0,4	14,8
B	12	0,4	14,2

Segundo día

19-12-12			
turno	T (°C)	P (bar)	Grado plato
C	16	1,4	4,7
A	16	1,4	3,3
B	16	1,4	3,2

Sexto día

16-12-12			
turno	T (°C)	P (bar)	Grado plato
C	12	0,4	13,5
A	12	0,4	12,7
B	12	0,8	10,6

Tercer día

20-12-12			
turno	T (°C)	P (bar)	Grado plato
C	16	1,4	3,1
A	16	1,4	2,9
B	16	1,4	2,8

Séptimo día

17-12-12			
turno	T (°C)	P (bar)	Grado plato
C	12	0,8	9,9
A	12	0,8	8,7
B	12	0,8	8,0

Cuarto día

21-12-12			
turno	T (°C)	P (bar)	Grado plato
C	16	1,4	2,8

Octavo día

Tabla N°27. Proceso de fermentación ensayo “Rolph”.

El proceso de fermentación del ensayo “Rolph”, se comporta de igual manera como lo explica el capítulo N° 2.3, se tiene una fermentación normal en comparación a otros TCC fermentados. Este proceso termina con el análisis del Diacetilo, que está compuesto por butanodiona y pentanodiona, las cuales en sumatoria no deben sobrepasar los 0,25 mg/l, la cual para el ensayo resultó ser 0,18 mg/l de concentración al final del octavo día en el turno C. Como el análisis del Diacetilo fue bueno, la cerveza fermentada (cerveza verde) se pasa al TR-033 para empezar el proceso de reposo y para esto la cerveza es pasada por un intercambiador de calor, bajando la temperatura de ésta, para posteriormente conseguir y mantener una

temperatura que puede oscilar entre -2 - -1°C mediante un sistema de chaqueta de enfriamiento dentro del TR.

6.2.1. Análisis del reposo

En la etapa de reposo la cerveza se mantiene bajo presión, esto permite bajar el punto de solidificación del agua y de esta forma poder hacer un reposo con temperaturas inferiores a los 0°C (recordar que la cerveza es alrededor de un 95% agua). En esta etapa se mantiene la cerveza 5 días seguidos, para posteriormente hacerle los análisis pertinentes y poder filtrarla según corresponda. A continuación en las tablas N°28 y N°29 se muestra la descripción y análisis del reposo del TR-033 que corresponde al ensayo “Rolph”.

F/H modificado	OP	Tipo	Análisis	Caldo madre	Descripción caldo m.	Estanque
28/12/2012 22:41	R221212 33	reposo	ROYARZU	443	Caldo m. 4	TR-033

Tabla N°28. Indicación del estanque de reposo.

Alcohol	Amargor	Color	Extracto aparente	Extracto original	GFA %	Gravedad específica 20/20	PH	Turbidez
7,63	16	7,08	2,63	16,64	84,2	1,01029	4,16	1,67

Tabla N°29. Resultado del análisis de reposo.

En la tabla N°29 se muestra la información necesaria para el filtrado del TR-033, en la cual se muestran diferentes indicadores, con sus respectivos valores. Esta información es relevante para el proceso del filtrado de la cerveza reposada, porque con esta información se calibran los diferentes equipos para filtrar la cerveza. Recordar que el filtrado es la última etapa de elaboración donde se pueden corregir distintos valores de la cerveza siempre y cuando se lo permita el filtrado (pero si se tiene cerveza para filtrar con buenos valores de los distintos indicadores de calidad, no debería porque haber problema para el filtrado).

6.3. Análisis de la filtración

Una vez terminado con los 5 días de reposo de la cerveza, está lista para ser filtrada, y se realiza con el llenado al DT-013. En las tablas N°30 y N°31 se muestra la descripción y el análisis de la filtración de la cerveza del ensayo “Rolph”.

F/H modificado	OP	Ubicación	Tipo	Analista	Origen	Estanque	Pinta
29/12/2012 20:52	M ESCU 507	LF3	DT	GSOLA	TR-033	DT-013	130

Tabla N°30. Indicación de la filtración de la cerveza.

Alcohol	Amargor	Color	Extracto aparente	Extracto original	GFA	Gravedad específica (SG) 20/20	PH	Turbidez
5,7	19,5	10,6	2	12,7	84,25	1,0079	4,19	0,4

Tabla N°31. Resultado del análisis de filtración.

Los resultados de la filtración se encuentran dentro de la especificación correspondiente. Dentro del proceso de filtración no se encontraron anomalías al proceso, fue un filtrado normal.

6.4. Análisis del envasado

Después del filtrado y llenado del DT, la cerveza tiene que ser envasada para su comercialización y dependiendo de la programación que se tenga, se realiza el llenado al recipiente que se escoja.

Los análisis a la cerveza todavía no terminan, para tener una seguridad y protección del producto, se realiza un análisis de inicio de línea de envasado, con esto se descarta cualquier problema que exista en el envasado y que no se haya advertido, lo más preocupante es la contaminación microbológica que se haya producido, para esto también se realiza un análisis microbológico a la cerveza.

En la tabla N°32 se muestra la indicación del envasado, donde muestra la fecha de elaboración, el envase ocupado, la línea de envasado y el origen del proceso para una posible

trazabilidad. En la tabla N°33 se muestra el análisis de la cerveza de inicio del envasado, que debería tener los mismo o muy parecidos resultados entregados por la filtración de la cerveza. En la tabla N°34 se muestra el análisis microbiológico de la cerveza.

F/H modificado	Envase	Línea	Tipo	Analista	Origen	Estanque	Pinta
30/12/2012 5:11	LAT 350	ENV_ LO7	Inicio	SAESCOB	TR-033	DT-013	130

Tabla N°32. Indicación del envasado de cerveza.

Alcohol	Color	Extracto aparente	Extracto original	GFA	PH	Turbidez
5,69	10,0	2,04	12,7	83,96	4,19	0,4

Tabla N°33. Resultado del análisis de cerveza inicio de envasado.

Los resultados de la tabla N°33 son muy parecidos a los de la tabla N°31, por tanto la cerveza no se ve afectada por el inicio de la línea de envasado.

CO ₂	Contenido neto en gr.	Contenido neto en cm ³	Densidad	Oxígeno disuelto	Oxígeno EBC	Oxígeno total
2,7	355	352,84	1,00684	0,06	0,04	0,1

Tabla N°34. Resultados microbiológicos de la cerveza.

El análisis microbiológico de la cerveza cumple con las especificaciones necesarias para su comercialización.

7. Balance de masa y energía

Se realizan los balances de masa y energía al calmo de mosto, el cual tiene la mayor implicancia con la recuperación de energía, junto con el condensador de vahos. El cocedor de mosto tuvo una disminución en el consumo total de Kg de vapor que se tiene como receta para la cocción del mosto. Con respecto al condensador de vahos, este recibe mayor cantidad de vahos de parte del cocedor de mosto, esto se debe a la variación en el sensor de temperatura del ERE, inclusive con menor cantidad de vapor consumido en el cocedor de mosto se puede obtener agua más caliente en el ERE. Recordar que antes de esta modificación del sensor, el condensador de vahos dejaba de funcionar al terminar el paso del cocedor “hervir con presión”, donde se abre la escotilla (válvula ON/OFF) de la chimenea del cocedor y se cierra la escotilla del condensador de vahos, dejando al cocedor hirviendo sin presión, en consecuencia los vapores de vahos se van directamente a la atmósfera.

7.1. Balance al calmo de mosto

Información del fabricante del calmo de mosto.

N° de placas: 263; Área de transferencia: 161,2 m²; Carga térmica: 2613 KW

Flujo de agua: $34,64 \frac{Kg}{s}$ Flujo de mosto: $38,67 \frac{Kg}{s}$

ΔT agua: 18°C ΔT mosto: 17°C

Temperatura máxima de operación: 105°C, temperatura mínima de operación 5°C

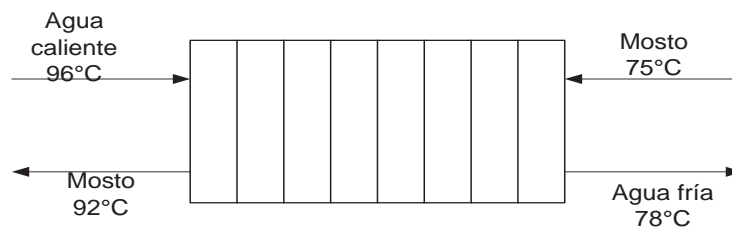


Figura N°30. Proceso de calentamiento del mosto en contracorriente, fabricante.

Con esta información se obtiene el coeficiente global de transferencia de calor. Se tiene que:

$$Q = A \cdot U \cdot LMTD \text{ (ec 3)}$$

Donde despejando el LMTD se tiene:

$$LMTD = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} = \frac{(96 - 92) - (78 - 75)}{\ln \frac{(96 - 92)}{(78 - 75)}} = \frac{4 - 3}{\ln \frac{4}{3}} = 3,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Una vez obtenido el LMTD se vuelve a ocupar la ecuación 3, pero ahora se despeja el coeficiente global de transferencia de calor y se obtiene:

$$U = \frac{Q}{A \cdot LMTD} = \frac{2613 \text{ KW}}{161,2 \text{ m}^2 \cdot 3,5 \text{ } ^\circ\text{C}} = 4,6 \frac{\text{KW}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Se tomará este coeficiente global de transferencia de calor constante en el proceso de calentamiento del mosto, ya que cada tres cocimientos se realiza un aseo Cip al intercambiador de calor disminuyendo la posibilidad de ensuciamiento del equipo.

Suponiendo que la succión y la descarga de los compuestos se encuentran en el mismo nivel de altura y dentro del equipo, se mantiene una velocidad constante de éstos. El trabajo realizado por las bombas es despreciable en comparación al calor de transferencia que se realiza. Además se considera que el coeficiente global de transferencia de calor no se verá afectado por el transcurso del tiempo, acusando tener una constante limpieza del equipo y considerando que los líquidos no son corrosivos, además el equipo es relativamente nuevo.

$$\Delta H + \Delta E_c + \Delta E_p = Q + W \text{ (ec 4)}$$

Considerando que no existe variación de la energía cinética, potencial y tampoco existe trabajo sobre el sistema la ecuación 4 nos queda: $\Delta H = Q$

Por lo tanto, la variación de entalpia nos queda como el calor transferido.

Para corroborar los datos del fabricante se calcula el calor específico del agua.

Se sabe que el calor transferido a un cuerpo más frío, es el producto de la masa por el calor específico y la diferencia de temperatura.

$$Q = masa_{agua} \cdot Cp_{agua} \cdot \Delta t_{agua} \text{ (ec 5)}$$

Si el flujo de agua másico es $34,64 \frac{Kg}{s}$ entonces con un base de cálculo de 1 segundo se tienen 34,64 kg de agua

Despejando el Cp_{agua} en la ecuación 5:

$$Cp_{agua} = \frac{Q}{masa_{agua} \cdot \Delta t_{agua}} = \frac{2613 \text{ KJ}}{34,64 \text{ Kg} \cdot 18^{\circ}\text{C}} = 4,19 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}$$

Se corroboran los datos entregados por el fabricante, ya que por tabla N°37 del anexo, se tiene que el calor específico del agua sobre los 70°C es $4,19 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}$ aumentando con el incremento de la temperatura, teniendo en consideración que el agua que se encuentra en el estanque recuperador de energía (ERE) varía su temperatura entre los 75 y los 98°C. Para razón de cálculo se tomará un Cp promedio del agua de la tabla N°37 igual a $4,2 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}$

Se considera un proceso adiabático (ideal), en el cual no existen las pérdidas de energía hacia el ambiente, donde todo el calor cedido por el agua es recuperado por el mosto y la masa que entra al calmo es la misma que sale. Además se toma como promedio un fondo lleno dentro del cocedor de 780 hl (78.000 litros) con una concentración de 16°P, lo que equivale a tener una densidad relativa de 1,065 como lo muestra la tabla N°36 del anexo, por lo tanto, la masa de mosto es 83.070 kg. Manteniendo los flujos constantes, ya sea de mosto como de agua, el tiempo total de transferencia de calor dentro del calmo sería alrededor 35,8 minutos, por lo tanto los flujos son los siguientes:

$$\text{Flujo de agua: } 34,64 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \cdot 35,8 \text{ min} \cong 74.400 \text{ Kg}$$

$$\text{Flujo de mosto: } 38,67 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \cdot 35,8 \text{ min} \cong 83.070 \text{ Kg}$$

Con una densidad promedio del agua 970 kg/m^3 (80°C), el consumo de agua en hl se obtiene a través de la ecuación 6.

$$\text{densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \quad (\text{ec } 6)$$

Despejando el volumen de la ecuación 6 tenemos:

$$\text{volumen} = \frac{\text{masa}}{\text{densidad}} = \frac{74.400 \text{ kg}}{970 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \cdot \frac{10 \text{ hl}}{1 \text{ m}^3} = 767 \text{ hl de agua}$$

Teniendo toda esta información, con la ecuación 7 se puede calcular el C_p del mosto sin pérdidas de energía en el proceso.

$$Q = M_{\text{agua}} \cdot C_{p_{\text{agua}}} \cdot \Delta T_{\text{agua}} = M_{\text{mosto}} \cdot C_{p_{\text{mosto}}} \cdot \Delta t_{\text{mosto}} \quad (\text{ec } 7)$$

Reemplazando y despejando el $C_{p_{\text{mosto}}}$:

$$74.400 \text{ kg} \cdot 4,2 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \cdot 18^\circ\text{C} = 83.070 \text{ kg} \cdot C_{p_{\text{mosto}}} \cdot 17^\circ\text{C}$$

$$\text{Por lo tanto el } C_{p_{\text{mosto}}} = 3,98 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$$

Si mantenemos la teoría del funcionamiento, pero ahora se consideran las pérdidas de energía, se debe calcular el $C_{p_{\text{mosto}}}$ real y esto se realiza con una ecuación 8 que representa los líquidos azucarados [2].

$$C_{p_{\text{mosto}}} = C_{p_{\text{agua}}}(T) \cdot (1 - 0,55 \cdot C) \quad (\text{ec } 8)$$

Donde C es la fracción másica del azúcar, para este caso se tiene una concentración de 16°P . Despejando el $C_{p_{\text{mosto}}}$ en la ecuación 8 se tiene:

$$C_{p_{\text{mosto}}} = 4,2 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (1 - 0,55 \cdot 0,16) = 3,83 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$$

Para razón de cálculos, los calores específicos tanto del agua como del mosto se tomaron constante, sin que varíen con la temperatura.

Teniendo el Cp_{mosto} real se pueden calcular las pérdidas de energía que tiene el sistema. En la ecuación 9 se reemplazan los valores y se despeja Cp_{mosto}

En la ecuación 7 se calculan las pérdidas de energía que tiene el calmo.

$$Q = M_{agua} \cdot Cp_{agua} \cdot \Delta T_{agua} = M_{mosto} \cdot Cp_{mosto} \cdot \Delta t_{mosto} + \text{pérdidas (ec 9)}$$

$$74.400 \text{ kg} \cdot 4,2 \frac{\text{KJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \cdot 18^\circ\text{C} = 83.070 \text{ kg} \cdot 3,83 \frac{\text{KJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \cdot 17^\circ\text{C} + \text{pérdidas}$$

$$Q = \text{Calor cedido} = \text{Calor recibido} + \text{pérdidas}$$

Reemplazamos y despejamos las pérdidas reales del sistema considerando los datos del fabricante tenemos:

$$\text{Calor cedido} = 5.624.640 \text{ KJ}$$

$$\text{Calor recibido} = 5.408.687 \text{ KJ}$$

Las pérdidas de energía son: $215.953 \frac{\text{KJ}}{\text{cocimiento}}$, lo que equivale a un 3,8% de pérdida de energía mediante calor hacia el ambiente.

Con la ecuación 10 se calcula la eficiencia en el intercambiador de calor.

$$\varepsilon_1 = \frac{T_{mosto2} - T_{mosto1}}{T_{agua1} - T_{mosto1}} \text{ (ec 10)}$$

Reemplazando y multiplicando por 100 el valor obtenido en la ecuación 10 para obtener el porcentaje de eficiencia.

$$\varepsilon_1 = \frac{T_{mosto2} - T_{mosto1}}{T_{agua1} - T_{mosto1}} = \frac{92 - 75}{96 - 75} = \frac{17}{21} = 0,80 = 80\%$$

La eficiencia ε_1 nos dice que mientras mayor sea la temperatura de la corriente de mosto que sale del calmo, mayor será su eficiencia, en el caso ideal si la temperatura de mosto a la salida del calmo fuera de 96°C (que es la temperatura de entrada del agua caliente) se tendría una eficiencia del 100%.

Otra forma de calcular la eficiencia del calmo.

Calor real absorbido por el mosto es q_1 : 5.408.687 KJ

Máximo calor que puede recibir el mosto $q_2 = M_{mosto} \cdot C_{p_{mosto}} \cdot (T_{1\text{ agua}} - t_{1\text{ mosto}})$ (ec 11)

Reemplazando los valores en la ecuación 11 se obtiene el máximo calor ideal que el mosto puede recibir.

$$q_2 = 83.070 \text{ kg} \cdot 3,83 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (96 - 75)^\circ\text{C} = 6.681.320 \text{ KJ}$$

El q_2 representa la cantidad máxima de energía que el mosto podría recibir en su forma ideal. Esto quiere decir, que la salida de la corriente del mosto en el calmo, tenga la misma temperatura que la entrada de la corriente de agua caliente. En la ecuación 12 representa la eficiencia del calmo.

$$\varepsilon_2 = \frac{q_1}{q_2} \text{ (ec 12)}$$

Reemplazando y multiplicando por 100 el valor de la ecuación 12 para obtener el porcentaje de eficiencia.

$$\varepsilon_2 = \frac{q_1}{q_2} = \frac{5.408.687 \text{ KJ}}{6.681.320 \text{ KJ}} = 0,80 = 80\%$$

Manteniendo los mismos datos del intercambiador de calor, se asume que la conductancia dentro del equipo es la misma porque no se han cambiado los fluidos del proceso, por tanto el coeficiente global de transferencia de calor permanece constante. Se calcula la eficiencia de éste equipo y las pérdidas que se tienen tanto en el proceso actual como en el ensayo llamado “Rolph”, para luego compararlas.

Proceso actual: no se ha hecho ninguna modificación en el calentamiento del mosto en el calmo, como tampoco en la cocción del mosto en el cocedor y tampoco en la recuperación de energía en el condensador de vahos.

Balance de masa al calmo

La ecuación 13 representa el balance de energía, en el cual no existe acumulación de masa en el intercambiador de calor. Todo la masa que entra es la misma que sale.

$$\frac{dm}{dt} = 0 \text{ (ec 13)}$$

Balance de energía al calmo

Esquema de las condiciones de operación que se tienen a menudo (flujos en contracorriente).

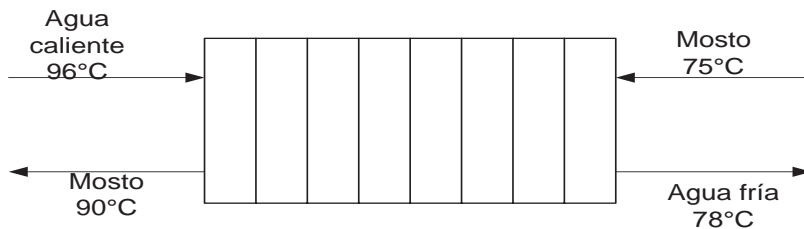


Figura N°31. Proceso de calentamiento del mosto en contracorriente, proceso actual.

Ocupando la ecuación 3 para calcular el calor transferido en KW.

$$Q = A \cdot U \cdot LMTD = 161,2m^2 \cdot 4,6 \frac{KW}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot 4,3^\circ C = 3188,5 KW$$

Considerando un tiempo promedio de 23 minutos para conseguir el llenado del cocedor con mosto para obtener los 600 hl como mínimo para que empiece el suministro del vapor para calentar el mosto, se tiene un promedio de 30 minutos para el llenado total del cocedor con los 780 hl de mosto, considerando un flujo constante. Para determinar la cantidad de calor en KJ que el agua cede en 30 minutos es necesario ocupar un factor de tiempo.

$$3188,5 \frac{KJ}{s} \cdot \frac{60 s}{1 min} \cdot 30 min = 5.739.300 KJ$$

La cantidad de agua caliente ocupada es representada por la ecuación 5.

$$Q = M_{agua} \cdot Cp_{agua} \cdot \Delta t_{agua} \text{ (ec 5)}$$

Despejando la masa de agua en la ecuación 5 nos queda:

$$M_{agua} = \frac{Q}{Cp_{agua} \cdot \Delta t_{agua}} = \frac{5.739.300 \text{ KJ}}{4,2 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 18^\circ\text{C}} = 759.16 \text{ kg}$$

Con una temperatura promedio del agua de 85°C en la tabla N°38 se tiene una densidad de 970 kg/m³, reemplazando los valores en la ecuación 6, se obtiene el consumo en hectolitros de agua.

$$volumen = \frac{75.916 \text{ kg}}{970 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \cdot \frac{10 \text{ hl}}{1 \text{ m}^3} = 782,6 \text{ hl de agua}$$

Con la ecuación 9 que se muestra a continuación se calculan las pérdidas de energía que se tienen en el calmo, manteniendo el mosto a una concentración del 16°P.

$$Q = M_{agua} \cdot Cp_{agua} \cdot \Delta t_{agua} = M_{mosto} \cdot Cp_{mosto} \cdot \Delta t_{mosto} + \text{pérdidas} \text{ (ec 9)}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 9 se obtienen las pérdidas de energía

$$75.916 \text{ kg} \cdot 4,2 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 18^\circ\text{C} = 83.070 \text{ kg} \cdot 3,83 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 15^\circ\text{C} + \text{pérdidas}$$

$$\text{Calor cedido} = 5.739.300 \text{ KJ}$$

$$\text{Calor recibido} = 4.772.372 \text{ KJ}$$

$$\text{pérdidas} \cong 966.928 \text{ KJ}$$

Las pérdidas de energía son: 966.928 $\frac{\text{KJ}}{\text{cocimiento}}$, lo que equivale a un 16,8% de pérdida de energía mediante calor hacia el ambiente.

Para calcular la eficiencia, en la ecuación 10 se reemplazan los diferentes valores de temperatura de las corrientes entrantes como salientes del intercambiador de calor, el resultado se multiplica por 100 para obtener el porcentaje de eficiencia.

$$\varepsilon_1 = \frac{T_{mosto2} - T_{mosto1}}{T_{agua1} - T_{mosto1}} = \frac{90 - 75}{96 - 75} = \frac{15}{21} = 0,71 = 71\%$$

Otra forma de calcular la eficiencia del calmo.

Calor real absorbido por el mosto es q_1 : 4.772.372 KJ

Con la ecuación 11 se calcula el máximo calor ideal que puede absorber el mosto, se reemplazan los valores y se obtiene q_2 .

$$q_2 = 83.070 \text{ kg} \cdot 3,83 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (96 - 75)^\circ\text{C} = 6.681.320 \text{ KJ}$$

Una vez obtenido q_1 y q_2 y gracias a la ecuación 12 se reemplazan los calores y se calcula la eficiencia del calmo, multiplicando el resultado de la división por 100 para obtener el porcentaje.

$$\varepsilon_2 = \frac{q_1}{q_2} = \frac{4.772.372 \text{ KJ}}{6.681.320 \text{ KJ}} = 0,71 = 71\%$$

Considerando los flujos máxicos de agua y de mosto constante que entran al intercambiador de calor, se puede obtener el flujo máxico por unidad de tiempo de cada uno.

Sabiendo que el llenado del cocedor se realiza en 30 minutos.

$$F_{\text{agua}} = \frac{759.16 \text{ kg}}{30 \text{ min}} = 2.530 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 42,2 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$F_{\text{mosto}} = \frac{83.070 \text{ kg}}{30 \text{ min}} = 2.769 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 46,2 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Conclusión: los flujos tanto del agua como del mosto, aumentaron en relación al fabricante, ya que el paso del mosto por el calmo hasta conseguir el fondo lleno se realiza en 30 minutos, en comparación con el fabricante que lo realiza en aproximadamente 36 min, esto provoca consumir 33 hl de agua adicional. Al tener una transferencia de calor más rápida que lo habitual no se aprovecha del todo bien la energía en transferencia. Pero esta no es la única razón por la cual no se consiguen los 92°C de mosto al salir de calmo. Recordar que se han cambiado los parámetros del sensor de temperatura inferior del estanque recuperador de energía (ERE), haciendo que la recuperación de energía a través del condensador de vahos se realice en toda la cocción y no solamente cuando termina el cocedor de cocer con presión. El desarrollo del balance de energía del **proceso actual** no ha considerado el cambio en los parámetros del sensor inferior de temperatura del ERE.

Proceso de ensayo: disminución de 500 Kg. de vapor en la etapa de calentamiento del mosto dentro del cocedor y una disminución de 500 Kg. de vapor en la etapa de ebullición del mosto en el cocedor, esto provoca una menor recuperación de energía en el condensador de vahos.

Balance de masa al calmo

Al igual que el **caso actual** no existe acumulación de masa en el intercambiador de calor y se representa por la ecuación 13

$$\frac{dm}{dt} = 0 \text{ (ec 13)}$$

Balance de energía al calmo

Teniendo las mismas suposiciones que en **caso actual** donde no existe variación de la energía cinética, potencial y tampoco existe trabajo sobre el sistema la ecuación 4

$$\Delta H + \Delta E_c + \Delta E_p = Q + W \text{ (ec 4)}$$

Nos queda resumida en: $\Delta H = Q$

Por lo tanto, la variación de entalpia nos queda como el calor transferido

Esquema de las condiciones de operación que se tuvieron en el calmo en el ensayo “Rolph” (flujos en contracorriente).

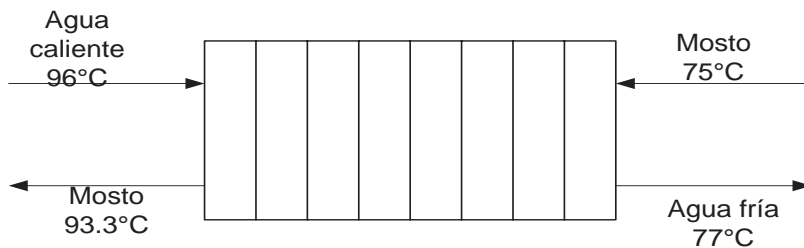


Figura N°32. Proceso de calentamiento del mosto en contracorriente, proceso de ensayo.

Ocupando la ecuación 3 para calcular el calor transferido en KW.

$$Q = A \cdot U \cdot LMTD = 161,2m^2 \cdot 4,6 \frac{KW}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot 2,3^\circ C = 1.705,5 KW$$

Sabiendo que se demora en conseguir los 600 hl de mosto dentro del cocedor en el llenado de éste, un tiempo total promedio de 48 minutos, se realiza una regla de tres y se determina que se necesitan 63 minutos para alcanzar un volumen 780 hl manteniendo los flujos constantes.

$$1.705,5 \frac{KJ}{s} \cdot \frac{60 s}{1 min} \cdot 63 min = 6.446.790 KJ$$

Esto quiere decir, que se gastará más cantidad de agua caliente para aumentar la temperatura de salida del mosto en el calmo, recordar que se está aumentando en 3.3°C la temperatura de salida del mosto en comparación con el proceso actual. El único inconveniente que se podría producir, al ocupar una mayor cantidad de masa de agua caliente del ERE, es que la temperatura de esta agua se enfríe por muy debajo de los 96°C. Recordar que en el ensayo, los tres cocimientos fueron consecutivos por la misma línea de producción.

La cantidad de agua caliente ocupada es calculada con la ecuación 5, despejando la masa de agua.

$$M_{agua} = \frac{Q}{Cp_{agua} \cdot \Delta t_{agua}} = \frac{6.446.790 KJ}{4.2 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 19^\circ C} = 80.786 kg$$

Con una temperatura promedio del agua de 85°C en la tabla N°38 se tiene una densidad de 970 kg/m³, reemplazando los valores en la ecuación 6, se obtiene el consumo en hectolitros de agua.

$$volumen = \frac{80.786 kg}{970 \frac{kg}{m^3}} \cdot \frac{10 hl}{1 m^3} = 832 hl de agua$$

Con la ecuación 9 se calculan las pérdidas de energía que se tienen en el calmo.

$$80.786 kg \cdot 4.2 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 19^\circ C = 83.070 kg \cdot 3,83 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 18,3^\circ C + pérdidas$$

$$Calor cedido = 6.446.722 KJ$$

$$Calor recibido = 5.822.293$$

$$pérdidas \cong 624.429 KJ$$

Las pérdidas de energía son: $624.429 \frac{KJ}{cocimiento}$, lo que equivale a un 11,5% de pérdida de energía mediante calor hacia el ambiente.

Para calcular la eficiencia, en la ecuación 10 se reemplazan los diferentes valores de temperatura de las corrientes entrantes como salientes del intercambiador de calor, el resultado se multiplica por 100 para obtener el porcentaje de eficiencia.

$$\varepsilon_1 = \frac{T_{mosto2} - T_{mosto1}}{T_{agua1} - T_{mosto1}} = \frac{93,3 - 75}{96 - 75} = \frac{18,3}{21} = 0,87 = 87\%$$

Otra forma de calcular la eficiencia del calmo.

Calor real absorbido por el mosto es q_1 : 5.822.293 KJ

Con la ecuación 11 se calcula el máximo calor ideal que puede absorber el mosto, se reemplazan los valores y se obtiene q_2 .

$$q_2: 83.070 \text{ kg} \cdot 3,83 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot (96 - 75)^\circ\text{C} = 6.681.320 \text{ KJ}$$

Una vez obtenido q_1 y q_2 y gracias a la ecuación 12 se reemplazan los calores y se calcula la eficiencia del calmo, multiplicando el resultado de la división por 100 para obtener el porcentaje.

$$\varepsilon_2 = \frac{q_1}{q_2} = \frac{5.822.293 \text{ KJ}}{6.681.320 \text{ KJ}} = 0,87 = 87\%$$

Considerando los flujos máxicos de agua y de mosto constante que entran al intercambiador de calor, se puede obtener el flujo máxico por unidad de tiempo de cada uno.

Sabiendo que el llenado del cocedor se realiza en 63 minutos.

$$F_{agua} = \frac{80.786 \text{ kg}}{63 \text{ min}} = 1.282 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 21,4 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$F_{mosto} = \frac{83.070 \text{ kg}}{63 \text{ min}} = 1.318 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 22,0 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Conclusión: los flujos tanto del agua caliente como del mosto han disminuido, provocando un aumento en la transferencia de calor, el proceso de llenado del cocedor se realiza más lento, prácticamente se demora el doble que el proceso actual, pero la elaboración en cocimiento permite este margen de tiempo adicional sin que las líneas de producción se atrasen con los cocimientos siguientes. El porcentaje de pérdida de energía disminuye en comparación con el

proceso actual de un 18,6% a un 11,5%. En el ensayo se considera la variación en el parámetro del sensor inferior del ERE, esto permite tener una recuperación de energía en todo el proceso de cocción, presumiendo que la temperatura que se encuentra en la parte superior del ERE se encuentre sobre los 96°C. Como los cocimientos fueron consecutivos en la misma línea de producción y el consumo de vapor en el cocedor para calentar el mosto (para que alcance los 98°C) disminuyó 500 kg en comparación del proceso actual, se considera que en el ensayo, el consumo adicional de agua caliente que se ocupa no dificulta las variables de operación, haciendo que la temperatura del ERE no se vea afectada gravemente. Esto nos quiere decir que, es mejor transferir la máxima cantidad de energía posible en el calmo, porque la temperatura en el ERE no se verá fuertemente afectada, además permite tener una mayor recuperación de energía en el condensador de vahos.

7.1.1. Consumo de energía cocedor

Se calcula la cantidad de energía que se consume en el cocedor de mosto en la fase de ebullición tanto habitualmente como en el ensayo y se comparan ambos consumos de energía obteniendo un porcentaje de ahorro en unidades de energía.

Cocedor de mosto

Considerando un flujo constante de vapor saturado que es suministrado al cocedor de mosto con una presión total de 5 Bar, se calcula la cantidad de calor por cocimientos, ya sea en el **proceso actual** o en el **ensayo**.

Proceso actual: consumo de 3200 kg de vapor en la etapa de ebullición.

Con una presión de vapor de 5 Bar se tiene una temperatura de saturación de 151,9°C, se obtiene de la tabla N°39 un λ de vaporización de $2.108,5 \frac{KJ}{Kg}$

Con la ecuación 14 se calcula la cantidad de KJ que consume un cocimiento en la etapa de ebullición.

$$\text{consumo vapor} = \text{kg vapor} \cdot \lambda v \text{ (ec 14)}$$

Reemplazando los respectivos valores en la ecuación 14 se obtiene el consumo de energía en KJ.

$$\text{consumo vapor} = \text{kg vapor} \cdot \lambda v = 3200 \text{ Kg vapor} \cdot 2.108,5 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} = 6.747.200 \frac{\text{KJ}}{\text{cocimiento}}$$

Proceso ensayo: consumo de 2700 kg de vapor en la etapa de ebullición.

Con una presión de vapor de 5 Bar se tiene una temperatura de saturación de 151,9°C, se obtiene de la tabla N°39 un lambda de vaporización de $2.108,5 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$

Reemplazando los respectivos valores en la ecuación 14 se obtiene el consumo de energía en KJ.

$$\text{consumo vapor} = \text{kg vapor} \cdot \lambda v = 2700 \text{ Kg vapor} \cdot 2.108,5 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} = 5.692.950 \frac{\text{KJ}}{\text{cocimiento}}$$

En el ensayo, el cocedor de mosto trabajó con un 84% de la energía que habitualmente ocupa para cocer el mosto.

Teniendo una evaporación de un 4% en volumen del total de mosto que entró al cocedor, se produce 3408 kg de vahos y considerando que todo lo evaporado es agua, en consecuencia, el contenido de extracto dentro del cocedor es el mismo, se puede obtener el °P al finalizar la cocción.

Se sabe que: $16^\circ\text{Plato} = \frac{16 \text{ kg extracto}}{100 \text{ kg de mosto}}$ por tanto en 83070 kg de mosto se tiene 13291 kg de extracto.

$$\text{Al final de cocción se tiene: } ^\circ\text{Plato} = \frac{13291 \text{ kg extracto}}{(83070-3408) \text{ kg mosto}} \cdot 100 = 16,6^\circ\text{Plato}$$

En consecuencia al tener una evaporación de un 4%, se consigue aumenta en 0,6°P un volumen inicial de cocción de 780 hl de mosto.

8. Propuesta de solución

Como el resultado del ensayo "Rolph" obtuvo buenos análisis en general, éste fue fermentado, filtrado y envasado como cualquier otro cocimiento, se podría pensar en modificar la receta, pero para esto se tendrían que seguir haciendo más ensayos con la reducción de vapor para tener mayores antecedentes sobre la modificación en la receta. Recordar que lo más delicado al bajar la cantidad de kg de vapor en el cocedor de mosto, es realizar la liberación del DMS, ya que éste le otorga un olor desagradable a la cerveza, por esta razón es preferible eliminarlo lo antes posible para que no siga en todo el proceso de cocción. Por esto se pretende remover lo antes posible el DMS del mosto, haciendo que se libere a la atmosfera y no quede mezclándose con el mosto.

Se sospecha que al seguir aumentando la cantidad de kg de vapor en el primer paso de ebullición (hervir sin presión) y quitarle kg de vapor en el último paso de ebullición (hervir sin presión), se podrían conseguir DMS más bajos, consumiendo la misma cantidad de kg de vapor en la cocción. Así de esta forma se podrían conseguir valores de DMS más pequeños de los que se obtuvieron en el ensayo, llegando a una mejor calidad del mosto para tener una cerveza de primera categoría. Es por esto, que se propone continuar con los ensayos teniendo una reducción del consumo total de kg. de vapor en la etapa de ebullición para reducir los costo de producción.

9. Estimación del costo del vapor

Al conseguir un mejor calentamiento del mosto en el calmo, permite tener un ahorro de vapor en la etapa de calentamiento del cocedor para conseguir los 98°C, que es la temperatura de ebullición del mosto. Esto se debe a la modificación del sensor inferior de temperatura del estanque recuperador de energía de 88 a 93,5°C permitiéndome tener agua caliente a mayor temperatura dentro del estanque, para posteriormente ocupar esta agua en el calentamiento del mosto en el calmo. Por otro lado, en el ensayo se reduce el consumo de vapor en la etapa de ebullición en 500 kg, esto permite tener una reducción en el tiempo total de ebullición de alrededor de 4 min y una tasa de evaporación total en promedio de 4.1%. Con estas dos modificaciones ya sea en el calentamiento o en la etapa de ebullición del mosto, permite conseguir un ahorro total de aproximadamente de 1000 kg de vapor.

Para estimar el costo total del vapor nos respaldamos con el libro Peters Timmerhaus donde el costo total del vapor los separa en tres partes: los costos directos de producción, los costos indirectos de producción y los costos generales de la sala de caldera.

Costos directos: básicamente se tienen las materias primas, el personal y la mantención.

Costos indirectos: se tienen las contribuciones, intereses por financiamiento, seguros.

Costos generales de la sala de caldera: se tiene la iluminación, comunicación, servicio de computación, otros servicios.

Costos directos

Para calcular el costo de vapor de producción se tomará un mes del segundo semestre del año 2012, a continuación en la tabla 35 se muestran las materias primas fundamentales y el personal de la sala de caldera.

	Precio unitario	Cantidad	Total
Gas natural	286	610.784 m ³	174.684.224
Corriente eléctrica	90	60.783 KWh	5.470.470
Aguas caldera	110	18000 m ³	1.980.000
Personal	700.000	8	5.600.000
Supervisión	25% personal	1	1.400.000
		Costo total	189.134.694

Tabla N°35. Costo directo de producción de vapor.

Nota: La mantención la realiza el mismo personal de caldera.

Costos indirectos

Los costos indirectos de producción se calcularán como el 12% del costo total de producción del vapor.

Costos generales de la sala de caldera

Los costos generales de la sala de caldera se calculan como el 10% del costo total del personal, por lo tanto se tiene un gasto de \$700.000

Se tiene lo siguiente, $CTP = \text{costo total del producto}$

Sumando el costo directo, el costo indirecto y los costos generales de la sala de caldera se calcula el CTP , por lo tanto se tiene:

$$CTP = 189.134.694 + 0,12 \cdot CTP + 700.000$$

Despejando CTP se obtiene lo siguiente:

$$CTP = 215.721.243$$

Considerando que se produjeron 7.138.000 kg de vapor aprox. en el mes tratante, lo que resulta tener un costo aproximado de \$30,2 el kg de vapor.

Teniendo todos estos antecedentes y sabiendo que existen 100 cocimientos a la semana, y un tercio (33 cocimientos) se realiza en la línea de producción número 1 en la cual se trabajo para la reducción del consumo de vapor. Se realiza una extrapolación del ahorro en dinero que se generaría en un año de producción, con el cambio de la receta del caldo madre 4.

$$1 \text{ año} \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} \frac{4 \text{ semanas}}{1 \text{ mes}} \frac{100 \text{ cocimiento}}{1 \text{ semana}} \frac{1000 \text{ kg de vapor}}{1 \text{ cocimiento}} \frac{30 \text{ pesos}}{1 \text{ kg de vapor}} \frac{1}{3} = 48.000.000 \text{ pesos}$$

Existiría un ahorro de 48 millones de pesos al año, sólo al modificar la receta en la ebullición en la línea de producción número 1, cabe mencionar que el ahorro en el calentamiento del mosto en el calmo siempre se puede hacer, sin variar la receta del caldo

madre 4, por tanto se está ahorrando por lo menos 500 kg de vapor, equivalente en dinero a \$24.000.000 al año.

Considerando un promedio por cocimiento sin realizar ninguna modificación al CM4 se tiene un consumo de 1300 kg de vapor en el calentamiento del mosto (en el cocedor) y 3200 kg de vapor en la ebullición por receta, en total se consumen 4500 kg de vapor para producir 700 hl de mosto. En resumen se consumen $6,42 \frac{kg \text{ vapor}}{hl \text{ mosto}}$.

Teniendo una relación de producción, que de cada hl de mosto producido se elaboran 2 hl de cerveza, por las diferentes disoluciones que se tiene en el proceso de elaboración de la cerveza, por lo tanto se tiene:

$$6,42 \frac{kg \text{ vapor}}{hl \text{ mosto}} \frac{1 \text{ hl mosto}}{2 \text{ hl cerveza}} = 3,21 \frac{kg \text{ vapor}}{hl \text{ cerveza}}$$

En el ensayo para el calentamiento del mosto (en el cocedor) se consume alrededor de 800 kg de vapor y un consumo en la etapa de ebullición de 2700 kg de vapor, esto tiene un total de 3500 kg de vapor para producir 700 hl de mosto. En resumen se consumen $5 \frac{kg \text{ vapor}}{hl \text{ mosto}}$.

Para nuestro ensayo se mantiene la misma relación de producción, que de cada hl de mosto producido se elaboran 2 hl de cerveza, por las diferentes disoluciones que se tiene en el proceso de elaboración de la cerveza, por lo tanto se tiene en el ensayo:

$$5 \frac{kg \text{ vapor}}{hl \text{ mosto}} \frac{1 \text{ hl mosto}}{2 \text{ hl cerveza}} = 2,50 \frac{kg \text{ vapor}}{hl \text{ cerveza}}$$

Se tiene un ahorro de \$0,71 $\frac{kg \text{ vapor}}{hl \text{ cerveza}}$ y considerando un costo \$30 el kg de vapor, se tiene un ahorro aproximado de \$21 por hl de cerveza elaborado, en conclusión se ahorra \$0,21 por litro de cerveza producido.

Para comprobar el ahorro en dinero que se tiene por cada litro de cerveza elaborada, se calcula la cantidad de litros de cerveza que se produce en la línea 1 de la etapa de cocimiento para el tiempo de un año.

$$1 \text{ año} \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} \frac{4 \text{ semanas}}{1 \text{ mes}} \frac{100 \text{ cocimiento}}{1 \text{ semana}} \frac{700 \text{ lh mosto}}{1 \text{ cocimiento}} \frac{100 \text{ litros}}{1 \text{ hl mosto}} \frac{1}{3} = 112.000.000 \text{ litros mosto}$$

Considerando que por cada litro de mosto producido se elaboran 2 litros de cerveza, por lo tanto se tiene 224.000.000 litros cerveza. Calculando el ahorro en dinero se tiene:

$$224.000.000 \text{ litros cerveza} \frac{0,21 \text{ pesos}}{1 \text{ litro cerveza}} = 47.040.000 \text{ pesos}$$

Estimando un costo de \$30 el Kg de vapor, se tiene un ahorro de \$48.000.000 considerando la cantidad de cocimiento que se tienen en un año. De otra forma al estimar un costo de \$30 el Kg de vapor, se tiene un ahorro de \$47.040.000 considerando la cantidad de litros de cerveza producido en un año. Al tener una pequeña diferencia en dinero, al comparar el ahorro en dinero que se tiene en ambos casos, se concluye que el costo del Kg de vapor es de alrededor de \$30, y se tiene un ahorro en el ensayo de \$0,21 por litro de cerveza producido.

10. Conclusiones

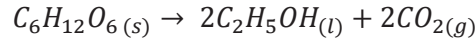
En el ensayo, ya se ha cambiado la programación del calmo, donde se le pide que la corriente de mosto que sale del calmo tenga una temperatura de 94 y no 92°C como se tiene habitualmente, para que posteriormente esta corriente entre al cocedor de mosto con una mayor temperatura, provocando una disminución del consumo de vapor en la etapa de calentamiento del mosto, para conseguir los 98°C. Se sospechaba que al cambiar la programación de la temperatura del mosto a 94°C se iba a consumir demasiada agua del estanque recuperador de energía, para cumplir con la modificación señalada anteriormente y esto podría acarrear el enfriamiento del estanque recuperador de energía, sin que este se pudiera recuperar con la condensación de los vahos en el condensador, donde se hace la recuperación de energía. Afortunadamente no se enfrió el ERE (se consumen 50 hl más en comparación con el proceso original para calentar el mosto en el calmo), ya que los tres cocimientos del ensayo fueron consecutivos por la misma línea de producción y tuvieron un consumo de kg de vapor parecidos entre sí en la etapa de calentamiento del mosto en el cocedor. Una pequeña variación que se obtenga en el calmo, se verá en el cocedor de mosto, como en el condensador de vahos. Por otra parte, al variar algún parámetro en el cocedor de mosto, esto provocará una variación en el calmo como en el condensador de vahos, también al variar algún parámetro en el condensador de vahos se tendrán variaciones en el calmo como en el cocedor de mosto. En el ensayo se tiene mayor preocupación con la restricción de conseguir el fondo lleno del cocedor antes de alcanzar una temperatura igual o superior a los 96°C (recordar que anteriormente era de 94°C está restricción), porque se tienen dos factores importante que considerar: se tiene un llenado más lento del habitual (prácticamente en el ensayo el llenado del cocedor con mosto se demora el doble de tiempo en comparación con un proceso habitual) y por otro lado al tener una mayor eficiencia en el calentamiento del mosto en el calmo, éste entra con una mayor temperatura al cocedor, pudiendo alcanzar la restricción de temperatura superior a 96°C sin que se haya alcanzado el fondo lleno del cocedor.

El ensayo llamado “Rolph” nos entrega información con respecto al calentamiento del mosto en el calmo, consiguiendo tener un traspaso de mosto del calmo al cocedor más lento, provocando un aumento en la transferencia de calor. Con respecto a la recuperación de energía, ésta se realiza en todo el proceso de ebullición y no se detiene hasta conseguir una temperatura inferior a los 93,5°C en la parte inferior del ERE. En la ebullición del mosto se tiene una reducción del consumo total de vapor, pero fundamentalmente se ve afectado el DMS del mosto como se apreció en las distintas pruebas que se hicieron antes del ensayo “Rolph”, por esta razón para contrarrestar el aumento del DMS del mosto por la disminución del vapor en la ebullición, en el primer paso de ésta (hervir sin presión), se tiene una

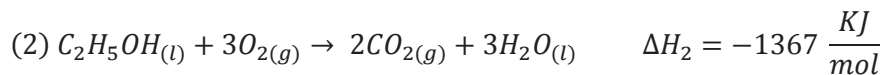
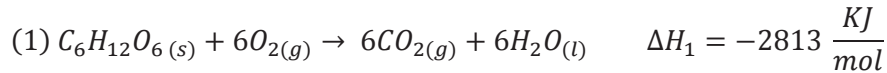
ebullición vigorosa para eliminar la mayor cantidad de DMS posible que pudiera haber dentro del cocedor de mosto y de esta forma no se siga cociendo con una concentración alta del DMS. Ahora bien, en el caso de haber tenido un ensayo con un DMS alto, esto acarrearía un inconveniente en la fermentación, cosa que no se produjo. Durante el reposo, la filtración y el envasado del ensayo, no se tuvieron inconvenientes en el proceso de cada una de estas etapas. Como consecuencia del ensayo, al tener una reducción en el consumo de vapor se tiene una menor tasa de evaporación de agua, se produce una menor cantidad de vahos, disminuyendo la recuperación de energía en el condensador de vahos, sin perjudicar la recuperación de energía.

Anexo

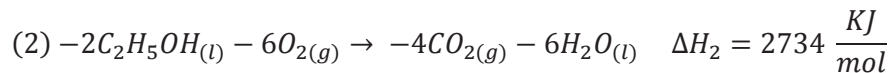
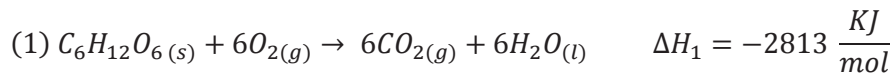
La reacción de fermentación de la glucosa es:



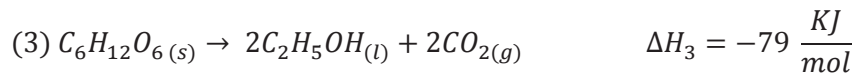
Para calcular la variación de energía es necesaria la siguiente información en condiciones estándar (25°C y 1 ATM):



La ecuación (2) se multiplica por -2, por tanto nos queda:



Restando la ecuación (1) menos la (2) se obtiene:



Considerando el peso molecular de:

$$C_6H_{12}O_6 = 180 \frac{gr}{mol}$$

$$C_2H_5OH = 46 \frac{gr}{mol}$$

$$CO_2 = 44 \frac{gr}{mol}$$

Se puede calcular el calor generado en el ensayo.

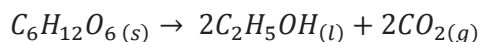
El TCC contiene 2100 hl de mosto con una concentración de 16,5°P equivalente a 17,58 gramos en 100 ml mosto. La ecuación despejando la masa de la ecuación 6 nos queda:

$$M = \rho \cdot V = \frac{17,58 \text{ gr}}{100 \text{ ml}} \cdot 2100 \text{ hl} \cdot \frac{100 \text{ lt}}{1 \text{ hl}} \cdot \frac{1.000 \text{ ml}}{1 \text{ lt}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1.000 \text{ gr}} = 36.918 \frac{\text{Kg glucosa}}{\text{TCC}}$$

Considerando que solamente un 80% del azúcar que se encuentra en el mosto es fermentable.

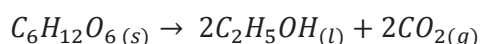
Azúcar fermentable en un $TCC = 0,8 \cdot 36.918 \text{ Kg} \cong 29.520 \text{ Kg glucosa} = 164 \text{ Kmol glucosa}$

De la ecuación general de fermentación:



$$164 \text{ kmol} \rightarrow 328 \text{ kmol} + 328 \text{ kmol}$$

Multiplicando los Kmol por el peso molecular de cada compuesto se obtiene:



$$29.520 \text{ Kg} \rightarrow 15.088 \text{ Kg} + 14.432 \text{ Kg}$$

Por lo tanto, por cada TCC fermentado se produce 14.432 Kg de dióxido de carbono aproximado, los cuales una pequeña parte se solubiliza en la cerveza fermentada (cerveza verde) y el resto es eliminado a la atmósfera con una pureza del 99%. Con respecto al etanol se almacena para diferentes funciones.

% másico gr/100 gr mosto °Plato	% convertido gr/100 ml mosto 20°C	Densidad gr/ml
15,00	15,89	1,059
15,10	16,00	1,059
15,20	16,11	1,059
15,30	16,22	1,060
15,40	16,34	1,061
15,50	16,45	1,061
15,60	16,56	1,061
15,70	16,68	1,062
15,80	16,79	1,062
15,90	16,90	1,062
16,00	17,02	1,063
16,10	17,13	1,063
16,20	17,24	1,064
16,30	17,36	1,065
16,40	17,47	1,065
16,50	17,58	1,065
16,60	17,70	1,066
16,70	17,81	1,066
16,80	17,92	1,066
16,90	18,04	1,067
17,00	18,15	1,067

Tabla N°36. Concentración de mosto con su respectiva densidad a 1 ATM.

Temp. °C	Calor específico		Temp. °C	Calor específico		Temp. °C	Calor específico	
	<u>kJ</u> K·kg	<u>kcal</u> K·kg		<u>kJ</u> K·kg	<u>kcal</u> K·kg		<u>kJ</u> K·kg	<u>kcal</u> K·kg
0 (hielo)	1,960	0,468	34	4,178	0,999	68	4,189	1,001
0	4,217	1,008	35	4,178	0,999	69	4,189	1,001
1	4,213	1,007	36	4,178	0,999	70	4,190	1,001
2	4,210	1,006	37	4,178	0,999	71	4,190	1,001
3	4,207	1,005	38	4,178	0,999	72	4,191	1,002
4	4,205	1,005	39	4,179	0,999	73	4,192	1,002
5	4,202	1,004	40	4,179	0,999	74	4,192	1,002
6	4,200	1,004	41	4,179	0,999	75	4,193	1,002
7	4,198	1,003	42	4,179	0,999	76	4,194	1,002
8	4,196	1,003	43	4,179	0,999	77	4,194	1,002
9	4,194	1,002	44	4,179	0,999	78	4,195	1,003
10	4,192	1,002	45	4,180	0,999	79	4,196	1,003
11	4,191	1,002	46	4,180	0,999	80	4,196	1,003
12	4,189	1,001	47	4,180	0,999	81	4,197	1,003
13	4,188	1,001	48	4,180	0,999	82	4,198	1,003
14	4,187	1,001	49	4,181	0,999	83	4,199	1,004
15	4,186	1,000	50	4,181	0,999	84	4,200	1,004
16	4,185	1,000	51	4,181	0,999	85	4,200	1,004
17	4,184	1,000	52	4,182	1,000	86	4,201	1,004
18	4,183	1,000	53	4,182	1,000	87	4,202	1,004
19	4,182	1,000	54	4,182	1,000	88	4,203	1,005
20	4,182	1,000	55	4,183	1,000	89	4,204	1,005
21	4,181	0,999	56	4,183	1,000	90	4,205	1,005
22	4,181	0,999	57	4,183	1,000	91	4,206	1,005
23	4,180	0,999	58	4,184	1,000	92	4,207	1,005
24	4,180	0,999	59	4,184	1,000	93	4,208	1,006
25	4,180	0,999	60	4,185	1,000	94	4,209	1,006
26	4,179	0,999	61	4,185	1,000	95	4,210	1,006
27	4,179	0,999	62	4,186	1,000	96	4,211	1,006
28	4,179	0,999	63	4,186	1,000	97	4,212	1,007
29	4,179	0,999	64	4,187	1,001	98	4,213	1,007
30	4,178	0,999	65	4,187	1,001	99	4,214	1,007
31	4,178	0,999	66	4,188	1,001	100	4,216	1,008
32	4,178	0,999	67	4,188	1,001	100 (gas)	2,080	0,497
33	4,178	0,999						

Tabla N°37. Calor específico del agua entre 0°C y 100°C a 1 ATM

Temperatura °C	Densidad kg / m ³	Temperatura °C	Densidad kg / m ³	Temperatura °C	Densidad kg / m ³
0 (hielo)	917,00	33	994,76	67	979,34
0	999,82	34	994,43	68	978,78
1	999,89	35	994,08	69	978,21
2	999,94	36	993,73	70	977,63
3	999,98	37	993,37	71	977,05
4	1000,00	38	993,00	72	976,47
5	1000,00	39	992,63	73	975,88
6	999,99	40	992,25	74	975,28
7	999,96	41	991,86	75	974,68
8	999,91	42	991,46	76	974,08
9	999,85	43	991,05	77	973,46
10	999,77	44	990,64	78	972,85
11	999,68	45	990,22	79	972,23
12	999,58	46	989,80	80	971,60
13	999,46	47	989,36	81	970,97
14	999,33	48	988,92	82	970,33
15	999,19	49	988,47	83	969,69
16	999,03	50	988,02	84	969,04
17	998,86	51	987,56	85	968,39
18	998,68	52	987,09	86	967,73
19	998,49	53	986,62	87	967,07
20	998,29	54	986,14	88	966,41
21	998,08	55	985,65	89	965,74
22	997,86	56	985,16	90	965,06
23	997,62	57	984,66	91	964,38
24	997,38	58	984,16	92	963,70
25	997,13	59	983,64	93	963,01
26	996,86	60	983,13	94	962,31
27	996,59	61	982,60	95	961,62
28	996,31	62	982,07	96	960,91
29	996,02	63	981,54	97	960,20
30	995,71	64	981,00	98	959,49
31	995,41	65	980,45	99	958,78
32	995,09	66	979,90	100	958,05

Tabla N°38. Densidad agua líquida entre 0°C y 100°C a 1 ATM

Presión	Temp.	Volumen específico		Energía interna		Entalpía			Entropía	
		m ³ / kg		kJ / kg		kJ / kg			kJ / kg K	
		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Vapor	Líquido	Vapor
bar	°C	sat, v _f x 10 ³	sat, v _g	sat, u _f	sat, u _g	sat, h _f	vaporiz, h _{fg}	sat, h _g	sat, s _f	sat, s _g
0,04	28,96	1,0040	34,800	121,45	2415,2	121,46	2432,9	2554,4	0,4226	8,4746
0,06	36,16	1,0064	23,739	151,53	2425,0	151,53	2415,9	2567,4	0,5210	8,3304
0,08	41,51	1,0084	18,103	173,87	2432,2	173,88	2403,1	2577,0	0,5926	8,2287
0,10	45,81	1,0102	14,674	191,82	2437,9	191,83	2392,8	2584,7	0,6493	8,1502
0,20	60,06	1,0172	7,649	251,38	2456,7	251,40	2358,3	2609,7	0,8320	7,9085
0,30	69,10	1,0223	5,229	289,20	2468,4	289,23	2336,1	2625,3	0,9439	7,7686
0,40	75,87	1,0265	3,993	317,53	2477,0	317,58	2319,2	2636,8	1,0259	7,6700
0,50	81,33	1,0300	3,240	340,44	2483,9	340,49	2305,4	2645,9	1,0910	7,5939
0,60	85,94	1,0331	2,732	359,79	2489,6	359,86	2293,6	2653,5	1,1453	7,5320
0,70	89,95	1,0360	2,365	376,63	2494,5	376,70	2283,3	2660,0	1,1919	7,4797
0,80	93,50	1,0380	2,087	391,58	2498,8	391,66	2274,1	2665,8	1,2329	7,4346
0,90	96,71	1,0410	1,869	405,06	2502,6	405,15	2265,7	2670,9	1,2695	7,3949
1,00	99,63	1,0432	1,694	417,36	2506,1	417,46	2258,0	2675,5	1,3026	7,3594
1,50	111,4	1,0528	1,159	466,94	2519,7	467,11	2226,5	2693,6	1,4336	7,2233
2,00	120,2	1,0605	0,8857	504,49	2529,5	504,70	2201,9	2706,7	1,5301	7,1271
2,50	127,4	1,0672	0,7187	535,10	2537,2	535,37	2181,5	2716,9	1,6072	7,0527
3,00	133,6	1,0732	0,6058	561,15	2543,6	561,47	2163,8	2725,3	1,6718	6,9919
3,50	138,9	1,0786	0,5243	583,95	2546,9	584,33	2148,1	2732,4	1,7275	6,9405
4,00	143,6	1,0836	0,4625	604,31	2553,6	604,74	2133,8	2738,6	1,7766	6,8959
4,50	147,9	1,0882	0,4140	622,25	2557,6	623,25	2120,7	2743,9	1,8207	6,8565
5,00	151,9	1,0926	0,3749	639,68	2561,2	640,23	2108,5	2748,7	1,8607	6,8212
6,00	158,9	1,1006	0,3157	669,90	2567,4	670,56	2086,3	2756,8	1,9312	6,7600
7,00	165,0	1,1080	0,2729	696,44	2572,5	697,22	2066,3	2763,5	1,9922	6,7080
8,00	170,4	1,1148	0,2404	720,22	2576,8	721,11	2048,0	2769,1	2,0462	6,6628
9,00	175,4	1,1212	0,2150	741,83	2580,5	742,83	2031,1	2773,9	2,0946	6,6226
10,0	179,9	1,1273	0,1944	761,68	2583,6	762,81	2015,3	2778,1	2,1387	6,5863
15,0	198,3	1,1539	0,1318	843,16	2594,5	844,84	1947,3	2792,2	2,3150	6,4448
20,0	212,4	1,1767	0,09963	906,44	2600,3	908,79	1890,7	2799,5	2,4474	6,3409
25,0	224,0	1,1973	0,07998	959,11	2603,1	962,11	1841,0	2803,1	2,5547	6,2575
30,0	233,9	1,2165	0,06668	1004,8	2604,1	1008,4	1795,7	2804,2	2,6457	6,1869
35,0	242,6	1,2347	0,05707	1045,4	2603,7	1049,8	1753,7	2803,4	2,7253	6,1253
40,0	250,4	1,2522	0,04978	1082,3	2602,3	1087,3	1714,1	2801,4	2,7964	6,0701
45,0	257,5	1,2692	0,04406	1116,2	2600,1	1121,9	1676,4	2798,3	2,8610	6,0199
50,0	264,0	1,2859	0,03944	1147,8	2597,1	1154,2	1640,1	2794,3	2,9202	5,9734
60,0	275,6	1,3187	0,03244	1205,4	2589,7	1213,4	1571,0	2784,3	3,0267	5,8892
70,0	285,9	1,3513	0,02737	1257,6	2580,5	1267,0	1505,1	2772,1	3,1211	5,8133
80,0	295,1	1,3842	0,02352	1305,6	2569,8	1316,6	1441,3	2758,0	3,2068	5,7432
90,0	303,4	1,4178	0,02048	1350,5	2557,8	1363,3	1378,9	2742,1	3,2858	5,6772
100	311,1	1,4524	0,01803	1393,0	2544,4	1407,6	1317,1	2724,7	3,3596	5,6141
110	318,2	1,4886	0,01599	1433,7	2529,8	1450,1	1255,5	2705,6	3,4295	5,5527
120	324,8	1,5267	0,01426	1473,0	2513,7	1491,3	1193,6	2684,9	3,4962	5,4924
130	330,9	1,5671	0,01278	1511,1	2496,1	1531,5	1130,7	2662,2	3,5606	5,4323
140	336,8	1,6107	0,01149	1548,6	2476,8	1571,1	1066,5	2637,6	3,6232	5,3717
150	342,2	1,6581	0,01034	1585,6	2455,5	1610,5	1000,0	2610,5	3,6848	5,3098
160	347,4	1,7107	0,009306	1622,7	2431,7	1650,1	930,6	2580,6	3,7461	5,2455
170	352,4	1,7702	0,008364	1660,2	2405,0	1690,3	856,9	2547,2	3,8079	5,1777
180	357,1	1,8397	0,007489	1698,9	2374,3	1732,0	777,1	2509,1	3,8715	5,1044
190	361,5	1,9243	0,006657	1739,9	2338,1	1776,5	688,0	2464,5	3,9388	5,0228
200	365,8	2,036	0,005834	1785,6	2293,0	1826,3	583,4	2409,7	4,0139	4,9269
220,9	374,1	3,155	0,003155	2029,6	2029,6	2099,3	0	2099,3	4,4298	4,4298

Tabla N°39. Propiedades del agua saturada.

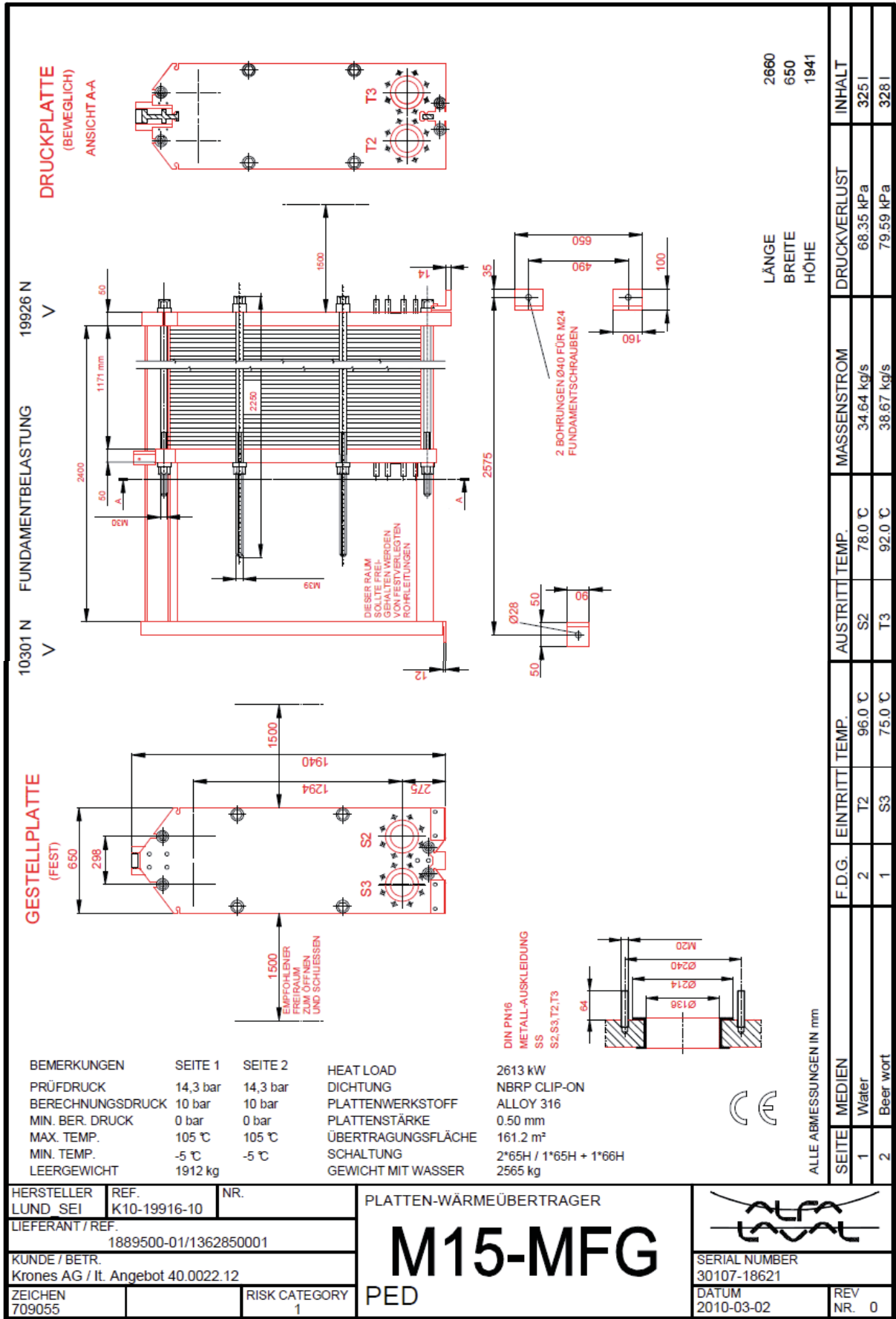


Tabla N°40. Características y condiciones de trabajo del calmo.

Glosario

Ácido tiobarbitúrico (TBZ): es una medida empírica sobre el estrés térmico al que se ha sometido el mosto durante la cocción. Sirve como indicador de carga térmica.

Albúmina: Es una proteína que es fácil de coagular.

Almidón: Es un polisacárido que está formado por dos compuestos diferentes, que son la amilosa y la amilopectina.

Amargor: El amargor es un indicador del mosto y su unidad de medición es el IBU.

Aminoácidos: Es una molécula orgánica con un grupo amino ($-NH_2$) y un grupo carboxilo ($-COOH$).

Asimilación: Aprovechamiento, absorción e incorporación de algo útil y necesario.

Atenuación: Durante la fermentación, el azúcar que tiene una densidad mayor que la del agua, se reemplaza por alcohol, que tiene una densidad menor que la del agua. Esto provoca una caída de la densidad durante la fermentación del líquido. Esta reducción expresada en porcentaje se le llama atenuación.

Atenuación límite: Es la reducción mínima porcentual de la densidad en la fermentación.

Autoclave: Es un recipiente metálico de paredes gruesas, cuenta con un cierre hermético que permite trabajar a altas presiones internas, teniendo la posibilidad de encontrar líquidos a temperaturas superiores a los $100^\circ C$.

Autólisis: Es un proceso biológico por el cual una célula se autodestruye, ya sea porque no es más necesaria o porque está dañada y debe prevenir un daño mayor [3].

Calcio: El calcio nos proporciona tener una mejor floculación de la levadura.

Cip: Es el aseo que se debe hacer a cada equipo e instalaciones como por ejemplo: a los cocedores a los intercambiadores de calor, a las enfriaderas, a los estanques de fermentación, a los estanques de cerveza verde, líneas de envasado, etc. En empresas de alimentos como ésta, los aseos son estrictamente rigurosos y programados (norma ISO 22000).

Cocedor: Es un estanque cilíndrico, que en su interior contiene un intercambiador de calor, el cual le permite alcanzar el punto de ebullición del líquido a la presión correspondiente.

Color: El color del mosto y de la cerveza tiene que tener buena presencia, y para esto se mide el color que debe estar dentro de la especificación existente en unidades de EBC.

Densidad relativa (SG): es la densidad ocupada para la elaboración de la cerveza. Es una comparación de la densidad de una sustancia con la densidad de otra que se toma como referencia. Ambas densidades se expresan en las mismas unidades y en iguales condiciones de temperatura y presión. Por lo general la densidad de referencia es el agua. La densidad relativa es adimensional [4].

Dimetil sulfuro (DMS): Es el componente sulfuroso menos deseado producido durante la elaboración de la cerveza, desde el comienzo del malteado de la cebada, es clásico en cervezas lagers y tiene un sabor a verdura cocida. En la ebullición del mosto en el cocedor, se elimina gran cantidad de este compuesto [5].

Enfriamiento: Es un proceso que ocurre en la enfriadera de mosto, donde éste cede el calor al agua fría, haciendo que esta agua se caliente y el mosto se enfríe.

Engrudo: Solución viscosa que podría ser perjudicial en el proceso de maceración, en el caso que las enzimas no degradaran el almidón.

Extracto aparente: Es el extracto de la cerveza después de la fermentación, se llama aparente porque no corresponde a la concentración de las sustancias solubles presentes en la cerveza pues el alcohol afecta la densidad.

Extracto original: Se refiere a la concentración del mosto en %^P/_p antes de agregar la levadura y se mide en °P.

Extracto real: Es el extracto que tiene la cerveza sin la influencia del alcohol, es decir retirando el alcohol.

Amino nitrógeno libre (FAN): Se produce debido a la degradación de las proteínas, en proporciones adecuadas contribuye al buen desarrollo de las levaduras impidiendo así fermentaciones lentas o inactivas.

Fermentación: Se define como la descomposición de sustancias orgánicas por acción de microorganismos con desprendimiento de gases y generación de calor.

Filtración: Es un proceso de separación de sólidos en suspensión en un líquido.

Germinación: Es un proceso indispensable de la cebada para el desarrollo de enzimas, se desaparecen paredes celulares, se degradan proteínas, almidones y betaglicanos.

Gemiparidad: Es un tipo de reproducción asexual por gemación, modo de reproducción por gemas o mamelones, de los que cada uno se forma un individuo semejante a aquél sobre el cual ha nacido [6].

Glucosa: Es un monosacárido con fórmula molecular $C_6H_{12}O_6$. Es un isómero de la fructuosa, con diferente posición relativa de los grupos ^-OH y $=O$.

Grado de fermentación: Representa el porcentaje de conversión de extracto original al extracto aparente mediante la fermentación.

Grado plato (°P): Expresa los gramos de materia sólida disuelta (extracto) en 100 cc de mosto, o de otra forma, los kilogramos de materia sólida en un hectolitro.

Hemicelulosa: Es un heteropolisacárido, es decir, está formada por un conjunto heterogéneo de polisacáridos. Se caracteriza por ser una molécula con ramificaciones.

Hidrólisis: Es una reacción química entre una molécula de agua y otra molécula, en la cual la molécula de agua se divide en el ion hidroxilo OH^- y un ion H^+ (el cual es inmediatamente hidratado para formar el ion hidronio H_3O^+). Esta reacción sucede espontáneamente en agua pura y en el equilibrio la concentración de los iones es la misma $[H_3O^+] = [OH^-] = 1 \cdot 10^{-7}$ M (auto protolisis). Esta reacción es importante por el gran número de contextos en los que el agua actúa como disolvente. La adición de algunas sustancias al agua, por ejemplo la sal (en este caso extracto de malta cebada), modifican el equilibrio. Los iones constituyentes de la sal se combinan con los iones hidronio, hidroxilo, o ambos, procedentes de la disociación del agua. Al consumir estos iones se modifica su concentración y, como consecuencia, se modifica el valor del PH [7].

Lípidos: Son un conjunto de moléculas orgánicas, compuestas principalmente por carbono e hidrógeno y en un menor medida oxígeno, aunque también pueden contener fósforo, azufre y nitrógeno [8].

Maceración: Es un proceso que consiste en poner en remojo la malta, con un movimiento circular de las aspas, haciendo mover la masa total, con una cierta temperatura según cual enzima se quisiera alcanzar el óptimo.

Malteado: Es un proceso que consiste en la transformación controlada del grano de cebada mediante germinación y tostado. De esta forma se activan las enzimas contenidas en ella, con la finalidad de prepararlas para la maceración.

Maltosa: Es un disacárido formado por dos glucosas unidas por un enlace glucosídico. Al producir la unión se descompone una molécula de agua.

Molienda: El grano de cebada malteada (malta), como el adjunto (arroz), son molidos (harinilla), para ayudar a la transferencia de masa y calor.

Monosacáridos: Son azúcares simples, no se hidrolizan, es decir, que no se descomponen en otros compuestos más simples.

Mosto congreso: Es un análisis de mosto que se realiza en el macerador, llevado a las temperaturas óptimas de trabajo a las principales enzimas presentes en la malta, respetando tiempos específicos.

Nitrógeno libre: Indica las proteínas en ppm que podrían coagular en la cerveza embotellada.

Nitrógeno total: Indica la cantidad total de nitrógeno en ppm que existe en el mosto.

Organolépticos: En las catas de cerveza, el examen organoléptico es fundamental, donde los catadores ponen a prueba algunos sentidos (olfato, vista, gusto).

Oxígeno disuelto: El oxígeno disuelto en el mosto es esencial para el crecimiento de la levadura.

Ph: Es un indicador de acidez medido en ph, tanto para el mosto, como para la cerveza final.

Polifenoles: Son un grupo de sustancias químicas encontradas en plantas caracterizadas por la presencia de más de un grupo fenol por molécula.

Polisacárido: Son biomoléculas formadas por la unión de una gran cantidad de monosacáridos.

Proteína: Son moléculas formadas por cadenas lineales de aminoácidos.

Proteolíticos: Es un proceso de degradación de proteínas.

Reacción de Maillard: Es un conjunto muy complejo de reacciones químicas que traen consigo la producción de melanoidinas coloreadas que van desde el amarillo claro hasta el café muy oscuro en incluso el negro, además de diferentes compuestos aromáticos. Para que las transformaciones tengan lugar, son necesarios un azúcar reductor y un grupo amino libre, proveniente de un aminoácido o proteína. La reacción de Maillard puede ocurrir durante el calentamiento de los alimentos o durante el almacenamiento prolongado [9].

Sacarificación: Es un procedimiento mediante el cual los almidones y materias celulósicas se hidrolizan y se convierten en azúcares fermentables [10].

Trub: Es el restrojo que queda en el whirlpool, el cual es ocupado en los filtros Lauter.

Turbidez: Es la falta de transparencia de un líquido debido a la presencia de partículas en suspensión, como las proteínas, levaduras, etc.

Whirlpool: Es un estanque cilíndrico, el cual en el fondo cuenta con una superficie desnivelada, para permitir sacar la mayor cantidad de mosto, sin remover la masa sólida (queque), esta masa también llamada Trub es rica en sólidos en suspensión. Esto se obtiene por el remolino que se forma en su interior, por la entrada del mosto de una forma transversal a la circunferencia del equipo (el mosto entra por arriba del Whirlpool).

Bibliografía

[1]-Libro:

Tecnología para cerveceros y malteros

Autor: Wolfgang Kunze

Primera edición en español, volumen I

[2]-Libro:

Tecnología para cerveceros y malteros

Autor: Wolfgang Kunze

Primera edición en español, volumen I

[3]-Disponible en internet:

<http://es.wikipedia.org/wiki/Autolisis>

Visitada: 22-08-12

[4]-Disponible en internet:

http://es.wikipedia.org/wiki/Densidad_relativa

Visitada: 22-08-12

[5]-Disponible en internet:

http://www.lamansiondelcervecero.com/docs_cerveceros/DimetilsulfuroDMS.pdf

Visitada: 22-08-12

[6]-Disponible en internet:

http://www.portalesmedicos.com/diccionario_medico/index.php/Gemiparidad

Visitada: 22-08-12

[7]-Disponible en internet:

<http://es.wikipedia.org/wiki/Hidr%C3%B3lisis>

Visitada: 27-09-12

[8]-Disponible en internet:

<http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADpido>

Visitada: 10-03-14

[9]-Disponible en internet:

http://es.wikipedia.org/wiki/Reacci%C3%B3n_de_Maillard

Visitada: 02-03-14

[10]-Disponible en internet:

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/306598/contLinea/leccin_4_la_sacarificacin.html

Visitada: 18-12-12