



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Química e Ingeniería Química
Escuela Profesional de Ingeniería Química

**Proceso productivo de la elaboración de cerveza lager
a nivel industrial**

TRABAJO MONOGRÁFICO

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico

AUTOR

Gabriel Eduardo ARANA CONTRERAS

ASESOR

Raúl Germán PIZARRO CABRERA

Lima, Perú

2016



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Arana, G. (2016). *Proceso productivo de la elaboración de cerveza lager a nivel industrial*. [Trabajo Monográfico de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Escuela Profesional de Ingeniería Química]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

353



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA ✓
Central: 6197000 anexo 1208

ACTA DE TÍTULO POR TRABAJO MONOGRÁFICO

Los suscritos Miembros del Jurado, nombrado por la Sra. Directora de la Escuela Profesional de Ingeniería Química, bajo la Presidencia del **Dr. JOAQUÍN REINALDO LOMBIRA ECHEVARRÍA** (Presidente), el **Ing. ROBERTO ROBLES CALDERÓN** (Miembro), y el **Ing. RAÚL GERMÁN PIZARRO CABRERA** (Asesor), después de escuchar la sustentación del **TRABAJO MONOGRÁFICO**, titulado: "PROCESO PRODUCTIVO DE LA ELABORACIÓN DE LA CERVEZA LAGER A NIVEL INDUSTRIAL", rendido por el Bachiller en Ingeniería Química **GABRIEL EDUARDO ARANA CONTRERAS**, para optar el **TÍTULO PROFESIONAL** de **INGENIERO QUÍMICO**. Acordaron calificarle con la **NOTA** de:

..... *DIECIOCHO* *18*
(LETRAS) (NUMEROS)

Ciudad Universitaria, 28 de noviembre de 2016.

[Firma]
Dr. JOAQUÍN REINALDO LOMBIRA ECHEVARRÍA
PRESIDENTE

[Firma]
Ing. ROBERTO ROBLES CALDERÓN
MIEMBRO

[Firma]
Ing. RAÚL GERMÁN PIZARRO CABRERA
ASESOR

[Firma]
Mg. JUANA SANDIVAR ROSAS
Directora (e) de la Escuela Académico Profesional
de Ingeniería Química



Resumen	5
Introducción	6
Índice de Contenido	
Capítulo 1: Antecedentes	7
1.1 Oportunidad de Mejora	7
1.2 Objetivo General	7
1.3 Objetivos Específicos	8
Capítulo 2: Aspectos Teóricos	9
2.1 Materia Prima	9
2.1.1 Acondicionamiento del Agua Cervecera	9
2.1.2 Cebada	10
2.1.3 Malta	11
2.1.4 Adjuntos	12
2.1.5 Lúpulo	12
2.2 Proceso de Cocimiento	17
2.2.1 Recepción de Materia Prima	17
2.2.2 Molienda	18
2.2.3 Tipo de Molino	20
2.2.4 Gelatinización del Maíz	21
2.2.5 Mezcla (Degradación Del Almidón)	22
2.2.6 Factores que Afectan las condiciones de maceración	26
2.2.7 Filtración del Mosto	28
2.2.8 Ebullición del Mosto	28
2.3 Enfriamiento y Aireación Del Mosto	30
2.3.1 Proceso Fermentación y Maduración	30
2.3.2 Propagación de levadura	30
2.3.3 Siembra Cosecha de Levadura	30
2.4 Proceso de Fermentación	32
2.4.1 Fases de la Fermentación	33
2.4.2 Factores que afectan la Fermentación	36
2.4.3 Subproductos de la Fermentación	36
2.4.4 Formación y Eliminación del Diacetilo	36
2.4.5 Formación del lactato de calcio	38
2.5 Proceso de Maduración	38
2.6 Proceso de Filtración	39
2.6.1 Ayudas Filtrantes	40
2.6.2 Agentes Estabilizantes	42
2.6.3 Agua Des aireada y Carbonatada	44

2.6.4 Carbonatación y Blending	45
Capítulo 3 : Resultados de la Actividad Profesional	46
3.1 Caso 1 : Reducción de la Variabilidad del pH y del Consumo de Ácido Fosfórico en la Paila Mezcladora y el Aumento de la Eficiencia de la Materia Prima en la Etapa de Cocimiento	46
3.1.1 Resultados	53
3.1.2 Conclusiones	53
3.1.3 Recomendaciones	54
3.1.4 Tablas y Gráficos	56
3.2 Caso2: Reducción del Consumo de Ayuda Filtrante / Etapa de Filtración de Cerveza	62
3.2.1 Conclusiones	87
3.2.2 Recomendaciones	88
Capítulo 4 : Conclusiones y Recomendaciones	89
4.1 Conclusiones	89
4.2 Recomendaciones	91
Referencias Bibliográficas	92
Anexos	93

Índice de Figuras

Fig. 1	Formación del mercaptano de alfa ácido humulona.	14
Fig. 2	Degradación del almidón durante el mashing.	24
Fig. 3	Formación del DMS durante la producción de malta y cerveza.	28
Fig. 4	Muestra el mecanismo de formación y eliminación del diacertilo.	36
Fig. 5	Causas que afectan la homogenización del pH.	58
Fig. 6	El cambio de dosificación de ácido fosfórico.	59
Fig. 7	Comportamiento del pH de la mezcla antes y después.	60
Fig. 8	Consumo del ácido fosfórico antes y después de la mejora.	61
Fig. 9	Rendimiento de materia prima antes y después	62
Fig. 10	Consumo de ayuda filtrante en gr/Hl al inicio del proyecto.	63
Fig. 11	Causas de variabilidad bajo el análisis de las 6 M.	64
Fig. 12	Project Chárter	66
Fig. 13	Certificado de Calidad del Proveedor	69
Fig. 14	Gráfico de Control y Capacidad del Proceso	70
Fig. 15	Diagrama Causa- efecto para el consumo de ayuda filtrante	72
Fig. 16	Matriz de análisis de formal de fallas.	76
Fig. 17	Correlación entre el conteo de células y el consumo de ayuda filtrante	77
Fig. 18	Análisis de regresión y normalidad para el conteo de células.	78
Fig. 19	Diseño experimental para recuento y contenido de betaglucanos	81
Fig. 20	Gráfica del cubo para el consumo de ayuda filtrante.	82
Fig. 21	Gráfica de control del proceso luego de las mejoras.	83
Fig. 22	Capacidad del proceso luego de las mejoras.	84
Fig. 23	Contenido de células antes y después de la mejora	85
Fig. 24	Contenido de beta glucanos antes y después de la mejora.	85
Fig. 25	Consumo de ayuda filtrante.	86

Índice de Tablas

Tabla 1.	Composición del Lúpulo	12
Tabla 2.	Lúpulos Aromáticos y Amargos usados en Cervecería.	13
Tabla 3.	Granulometría de la Malta	19
Tabla 4.	Análisis de los minerales del agua de proceso	56
Tabla 5.	Análisis de la dureza del agua de proceso	57

Proceso Productivo de la Elaboración de Cerveza Lager a Nivel Industrial

Resumen

El presente trabajo monográfico describe el proceso de elaboración de cerveza tipo lager desde la recepción y almacenamiento de la materia prima hasta la obtención de cerveza justo antes del envasado, El objetivo de esta investigación fue explicar los procedimientos y resultados obtenidos en la resolución de dos casos de estudio dentro del proceso de elaboración de cerveza a escala industrial en la ciudad de Lima. En el primer caso se explica el procedimiento aplicado para lograr reducir la variabilidad del pH y del consumo de ácido fosfórico en la paila mezcladora, así como para aumentar el rendimiento de la materia prima en la etapa de cocimiento. El segundo caso tuvo como objetivo reducir y estabilizar el consumo de ayuda filtrante en la etapa de filtración de la cerveza. Para la resolución del primer caso se hizo uso de herramientas de calidad, como la tormenta de ideas y la espina de pescado de Ishikawa. Después de analizar experimentalmente en planta varias alternativas, se diseñó e instaló en cada tanque de agua, un sistema neumático de bombeo de ácido fosfórico, con el cual se pudo demostrar la uniformización del pH en cada subproceso de la elaboración del mosto, disminuyéndose y estabilizándose el consumo del ácido fosfórico. En el segundo caso se aplicó la metodología DMAIC combinando el Lean Manufacturing y el seis sigma, utilizando además otras herramientas de calidad. A partir del diseño experimental realizado, se pudo lograr una disminución de recuento de células de la cerveza a filtrar y betaglucanos de un 60% y 30% respectivamente, así como una disminución significativa en el consumo de ayuda filtrante, de 149 gr/HL a 133 gr/HL

Palabras claves: elaboración de cerveza, pH, ácido fosfórico, filtración, ayuda filtrante, betaglucanos, DMAIC, Lean Manufacturing.

Introducción

La producción de cerveza a lo largo de su historia ha evolucionado, es decir, paso de una producción artesanal familiar a una producción global con el uso de tecnologías modernas para la elaboración.

Hasta el siglo pasado la producción de cerveza en latino américa incluso en norte américa, no contemplaba indicadores, tales como, ambientales, de seguridad y de higiene y los indicadores de calidad y de costos que se manejaban, se limitaban a la producción per se, sin considerar indicadores como el consumo de agua, la eficiencia de la materia prima, el consumo de energía y el consumo de insumos de limpieza u otros tipos de insumos usados en la producción o relacionados con éste.

Hoy en día el control de los indicadores de calidad y de costos en la producción de cerveza son más exigentes, el objetivo es ser más eficientes con los recursos que usamos. Además, los cuidados que se tienen con la higiene del proceso y del producto son otros de los requisitos legales que se debe cumplir.

En la misma línea con lo mencionado, el trabajo monográfico que presentamos trata de dos casos ocurridos en la industria cervecera, orientados al ahorro de recursos y a la optimización del proceso. El desarrollo de cada caso y la solución del problema involucró metodologías usadas en el control de la calidad y el uso de recursos, tales como PMCT (proyecto de mejora y control de la calidad) y Lean Seis Sigma o metodología DMAIC (definir, mejorar, analizar, mejorar y controlar).

CAPITULO 1

Antecedentes

Oportunidad de Mejora

En la elaboración de cerveza existen tres procesos principales como son: el cocimiento, la fermentación y la filtración. En cada uno de ellos se desarrollan subprocesos y actividades en la que el cervecero debe identificar con la finalidad de optimizarlos. Uno de estos subprocesos claves ocurre en la paila mezcladora, específicamente en la dosificación de ácido fosfórico o láctico para la obtención de un pH adecuado en la etapa de conversión de los carbohidratos a azúcares. Una oportunidad de mejora que se presentó en esta etapa y que desarrollaremos en este trabajo, fue la variabilidad del pH durante el procesos de conversión. El problema que enfrentamos fue que en distintos puntos de la masa en la paila mezcladora, el pH era diferente, lo que llevaba a usar más ácido fosfórico en este caso. A pesar de los esfuerzos que se hicieron en la agitación de la masa y en la dosificación del ácido, el problema persistía, se tuvo que innovar para darle solución.

Otra oportunidad de mejora que presentamos en este trabajo fue lo relacionado al consumo de ayuda filtrante, en la filtración de cerveza. En este caso, teníamos altos consumo de ayuda filtrante, debido a diferentes causas, como por ejemplo, el tipo de ayuda filtrante o la limpieza del equipo entre otros. Tuvimos que usar la metodología DMAIC para solucionar este problema.

Objetivo general:

Explicar las modificaciones tecnológicas y operacionales diseñadas y aplicadas para reducir la variabilidad del pH y del consumo de ácido fosfórico en la paila mezcladora,

aumentar la eficiencia de la materia prima en la etapa de cocimiento, y reducir y estabilizar el consumo de ayuda filtrante en la etapa de filtración de la cerveza.

Objetivos Específicos:

1. Reducir la variabilidad del pH y del consumo de ácido fosfórico en la paila mezcladora.
2. Aumentar la eficiencia de la materia prima en la etapa de cocimiento de la cerveza.
3. Reducir y estabilizar el consumo de ayuda filtrante en la etapa de filtración de la cerveza.

CAPITULO 2

ASPECTOS TEORICOS

El proceso de Elaboración de Cerveza tiene las etapas de: Cocimiento, Fermentación/Maduración y Filtración, de la forma en que se lleven a cabo dependerá el tipo de cerveza a realizar ya que según la clase de cerveza, varia la cantidad y tipo de Materia Prima (Mazariegos, 2011)

Materia Prima

Para la elaboración de la cerveza debemos usar: agua, malta (cebada malteada), lúpulo y levadura. Estos fueron los únicos ingredientes bajo la ley de la pureza alemana, sin embargo, muchas cervecerías utilizan como ingrediente adicional, el maíz, el arroz o cualquier otro cereal que sea fuente de almidón en la elaboración de la cerveza, este ingrediente adicional se le llama adjunto (Mazariegos, 2011)

Acondicionamiento del Agua Cervecera

El agua es parte esencial en la elaboración de la cerveza y por ello debemos conocer determinados parámetros físico-químicos del agua utilizada, es determinante para el proceso de elaboración y resultado final de esta bebida (espuma, sabor, transparencia) (Castro, 2014)

Para elaborar un tipo de cerveza el agua debe contener baja mineralización. Para ello, todas las cervecerías tratan las aguas de manera que siempre tenga las mismas características, gracias a los conocimientos adquiridos sobre la influencia de las sales en la elaboración, métodos de corrección de aguas, pueden adaptar cualquier agua al tipo y estilo de cerveza que se desea hacer. Así, se llevan a cabo procesos como la des carbonatación

para reducir la alcalinidad (bicarbonatos), la desmineralización para reducir iones, electrodiálisis que usan energía eléctrica, ósmosis inversa que usa sistemas de membranas. También la utilización de cartuchos de carbón activo sirve para quitar el cloro del agua, confiriéndole propiedades especiales que lo hacen tener una gran capacidad para adsorber ciertas sustancias. Mediante estos procesos de tratamiento del agua se evitan sabores extraños o intensos que perjudican el producto final. (Rocker, 2010)

Cebada

Se conocen 16 especies de cebada oriundas de países templados y calientes de casi todas las partes del mundo. Sin embargo, la más extendida es la cebada común (*Hordeum Vulgare*), originaria de Asia. La cebada se divide en cebadas de invierno y de verano, las de invierno se siembran en Setiembre y las de verano en Abril. Ambos tipos están subdivididas en variedades que dependen del arreglo de los granos en la espiga de la cebada. Estos arreglos están clasificados en cebada de dos hileras y cebadas multi hileras, para propósitos cerveceros el malteado de la cebada de dos hileras es la más adecuada ya que por más de 100 años las mejoras genéticas en esta variedad han sido hechas. (Floch, 2008)

En la siembra de variedades de cebada son importantes los siguientes parámetros: resistencia a enfermedades y parásitos, cascará resistente, alta capacidad para aprovechar los nutrientes, alto rendimiento del grano, buena forma y distribución del grano, alto flujo de absorción de agua y bajo sensibilidad al agua, bajo contenido de nitrógeno, alta energía germinativa y madurez en el malteado, alta formación de enzimas, habilidad de una modificación, alto rendimiento de extracto en el malteado. La cebada se adapta

particularmente bien a la operación de malteado y responde favorablemente a la fabricación de la cerveza, este cereal es capaz de sintetizar y activar complejos enzimáticos. Durante esta misma etapa, la concentración moderada de proteínas de las cebadas permitirá alimentar las levaduras en la etapa de fermentación. (Floch, 2008)

Para evitar la proliferación de insectos es necesario que el material este bien almacenado, es decir, con instalaciones limpias y ventiladas, permitiendo además la conservación del poder germinativo de la cebada (Floch, 2008)

Malta

El malteado consiste en germinar el grano más o menos rápidamente, para provocar transformaciones que la planta conoce de forma natural y de esta forma detener el crecimiento para generar malta con características esperadas. La transformación de la cebada en malta dura aproximadamente ocho días y se desarrolla en cuatro etapas principales que mencionaremos brevemente: El Remojo, es la etapa de preparación del grano, etapa en la cual se permite que el cereal se hidrate. Su tasa de humedad pasa de 15 a 45%. El grano puede entonces germinar. La Germinación, el germen, activado durante el remojo, se desarrollará a lo largo de esta etapa, engendrando importantes modificaciones bioquímicas en el interior del grano. El Secado-Tostado, en esta etapa ocurren múltiples transformaciones o reacciones a nivel enzimático indispensable para la elaboración de una buena malta. La Des germinación, es la etapa final. Se retiran las radículas formadas durante la germinación pasando el grano por plataformas vibratorias. (Cragolini, 2001)

Terminado el proceso del malteado lo que le interesa al cervecero son las características del producto final, es decir, realizar una evaluación de la malta y para ello realizamos

pruebas organolépticas, físico-químicas, fisiológicos y el llamado mosto congreso.
(Cragolini, 2001)

Adjuntos

Consecuentemente, de la carga total de malta usada en la elaboración de cerveza del 15 al 20% es reemplazada por un cereal no malteado llamado adjunto. El uso de adjuntos en la elaboración de cerveza tiene como objetivo aprovechar una fuente rica en almidones y de esta forma elaborar cervezas de alta densidad (aprovechando el poder diastático de la malta), abaratar el costo de la elaboración y obtener cervezas más suaves y equilibradas. Los adjuntos que más se usan en la industria cervecera son: el maíz, arroz y el trigo. Le siguen en orden la maltosa y el azúcar (Kunze W. , 1996)

Lúpulo

Es la materia prima responsable de aportar el amargor y de que nuestra cerveza exprese mejor algunos aromas y sabores propios.

Los lúpulos se dividen en aromáticos y amargos y dependerá del cervecero para usar la combinación adecuada de ellos para obtener la cerveza que desea realizar. (Riquelme, 2013)

Composición y Propiedades de los Componentes del Lúpulo

La composición de los lúpulos es extremadamente importante en la producción de cerveza, especialmente es importante en las cerveza tipo Pilsener, debido a que el aroma hace una esencial contribución al carácter de la cerveza. La composición promedio del lúpulo aproximadamente es: (Kunze W. , 1996)

Tabla N° 1

Composición del lúpulo

Categoría	%
Sustancias Amargas.....	18.5
Aceites.....	0.5
Polyfenoles.....	3.5
Proteínas.....	20.0
Inorgánicos.....	8.0

Fuente: Tabla de la composición del lúpulo en porcentaje y sin humedad.

En el anexo 1 se muestra internacionalmente la nomenclatura establecida para las resinas de lúpulo.

Variedades de Lúpulo

La variedad de los lúpulos se puede clasificar en: Aromáticos y Amargos.

Los lúpulos aromáticos están caracterizados por un intenso aroma placentero resultante de ciertos aceites de lúpulo. El contenido de α -ácido es menor que los lúpulos amargos. Los lúpulos amargos están caracterizados por un alto contenido de α -ácidos que puede alcanzar el 10%. Los lúpulos aromáticos y amargos que más se usan en la industria cervecera se muestran en la siguiente tabla. (Kunze W. , 1996)

Tabla N° 2

Lúpulos Aromáticos y Amargos usados en Cervecería.

Lúpulos Aromáticos	Lúpulos Amargos
Hallertauer	Northern Brewer
Hersbrucker	Brewers Gold
Hüller	Nugget
Perle	Target
Spalter	Orion
Tettnanger	Magnum
Tradition	Bullion

Fuente: Tabla que muestra los lúpulos más usados.

Formación del mercaptano de alfa ácido humulona

Este compuesto es formado por reacción de la luz sobre la molécula de lúpulo alfa ácido humulona, seguido de la reacción con el sulfuro de hidrogeno, originando la molécula, 3 metil, 1 buteno, 3 tiol (Janson, 2014)

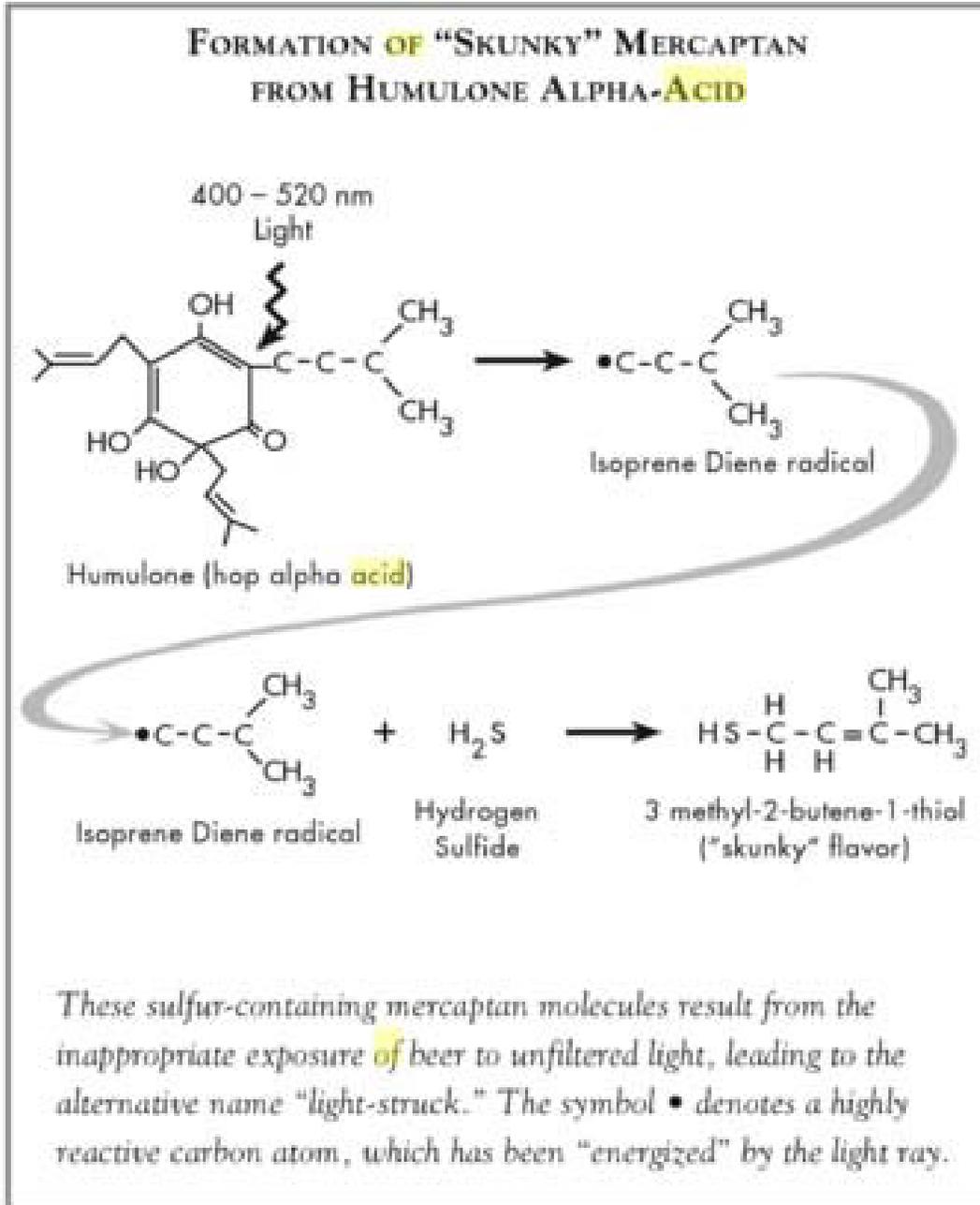


Figura 1: Muestra la formación del mercaptano de alfa ácido humulona. (Janson, 2014)

Calculo del amargor de la cerveza

Antes de conocer como es el cálculo del amargor en una cerveza, debemos conocer su unidad básica, conocida como IBU (International Bitterness Units) y que equivale a un miligramo de iso alfa ácido por litro de cerveza. (Vogrig, 2004)

Calculo de los kilos de lúpulo a partir del IBU

En la práctica el cervecero determina el valor final de IBU del producto final, es decir, cuál será el amargor deseado de la cerveza final. De esta forma se calcula las cantidades en kilos de los lúpulos a usar, también se tiene en cuenta la relación de lúpulos amargo/aromático. (Vogrig, 2004)

Calculo del IBU a partir de los kilogramos de lúpulo usar

Para este tipo de cálculos se usan las siguientes fórmulas:

$$AA/L = Plu * \%AA * 1000 / (Lm * 100)$$

$$IBUs = Plu * \%AA * \%U / (Lm * Fc * 10)$$

$$Fc = 1 + \{ [(DO / 1000) - 1,05] / 0,2 \},$$

Dónde:

Fc ; factor de corrección para densidades originales (DO) mayores a 1050.

AA/L: alpha ácidos que se adicionan al mosto

Plu: peso del lúpulo en gramos

%AA: porcentaje de alpha ácidos que posee el lúpulo adicionado

Lm: litros de mosto

%U: porcentaje de utilización. (Vogrig, 2004)

En el anexo 6 mostramos este tipo de cálculo con un ejemplo.

Proceso Cocimiento

El proceso de cocimiento empieza por la recepción de materia prima, es decir de la malta, maíz y lúpulo principalmente.

Recepción de Malta-Maíz y Lúpulo

En cervecería el material a granel debe ser repetidamente transportado de acuerdo a las necesidades de la producción. Para ello se debe utilizar el sistema de transporte que sea el más económico. (Kunze W. , 1996)

Hay dos medios de transporte para mover el material a granel:

1. Transporte Mecánico.
2. Transporte Neumático.

Transporte Mecánico

El transporte mecánico mueve el material a granel por medio de partes mecánicas en movimiento, estas se pueden dividir en: Transportador de Cangilones, Transportador de hélice, Transportadores de cadenas, Transportadores de faja. (Kunze W. , 1996)

En el anexo 2 mostramos esquemáticamente cada uno de estos medios de transporte.

Transporte Neumático

El transporte neumático del material a granel es llevada cabo por medio de una poderosa corriente de aire, no menor de 11 m/s en líneas horizontales y no menor de 20 m/s en alturas. Esta corriente de aire es generada por sopladores de émbolos rotativos o por ventiladores de presión alta. Hay dos tipos de transporte neumático: Transportadores de Succión, Transportadores de compresión de aire. (Kunze W. , 1996)

En el anexo 3 mostramos esquemáticamente cada uno de estos medios de transporte.

Molienda

Luego de la recepción de la materia prima el proceso de cocimiento continua con la molienda de la malta y el maíz.

Molienda de la Malta

La molienda es un proceso mecánico y provee los cimientos para: Conversiones químicas/ biológicas las cuales ocurren en la maceración, composición cualitativa del mosto y la eficiencia de extracción. La molienda de la malta consiste en pasar el grano de malta por molinos, (pueden ser de rodillos o de martillo), con la finalidad de exponer el contenido del grano, el endospermo, para ser procesado o convertido en azúcares en el proceso de mezcla o macerado. La cascara actúa como un filtro natural que nos ayudará a separar el mosto de los granos con gran facilidad. Una técnica que emplean las cervecerías para una mejor molienda es el “Wet Milling”. Esta técnica se trata de rociar con agua los

granos antes de molerlos para que la cascara se hidrate y se vuelva más flexible. (Calderoni, 2014)

De acuerdo a Gigliarelli (2004), una buena molienda debería dar como resultado aproximadamente los siguientes porcentajes: 30% cáscara, 10-20% grano grueso, 20-30% grano fino y 20-30% de harina.

Molienda de Maíz

La molienda de maíz puede ser seca o húmeda.

La molienda seca de maíz tiene por objetivo obtener productos tales como: los trozos de endosperma, sémolas y harinas. Para ello pasa por las siguientes etapas: *Recepción y almacenamiento*, Limpieza y calibración del maíz, Acondicionamiento, Desgerminado, y Molienda / Refinación. (Pagnacco, 2010)

Molienda Húmeda

La molienda húmeda separa de igual forma que la molienda seca, pero avanza mucho más y separa algunas de sus partes en sus constituyentes químicos. Por esto, los productos primarios son: almidón, proteína, aceite y fibra en lugar de salvado, germen y endospermo. Al igual que la molienda seca las etapas del proceso de molienda húmeda son: Remojo, Separación del germen, Cribado y molido, Centrifugación y secado y Purificación. (Alarcon, 2012)

Tamaño de la partícula en la molienda de malta y maíz

Definir el tamaño de partícula de malta luego de la molienda, dependerá del grano inicial, es decir, si este es pequeño o grande. De este análisis el cervecero regulara los rodillos de su molino para obtener una molienda donde la extracción de los azúcares atrapados en el grano sea la más eficiente. En laboratorio se hace pasar una muestra de 150 a 200 gr de molido, a través de un sistema de 5 tamices, los resultados se muestran a continuación: (Kunze W. , 1996).

Tabla N° 3

Granulometría de la Malta

Tamiz	Fracción	Tamaño del agujero de la malla en mm
1	Cascara	1.27
2	Molienda Gruesa	1.01
3	Molienda Fina I	0.547
4	Molienda Fina II	0.253
5	Harina	0.152
Tamiz inferior	Harina Fina	-----

Fuente: Kunze W. (1996) La tabla muestra aproximadamente el tamaño de la partícula de malta molida.

En el caso del tamaño de partícula del adjunto podríamos decir que es menor a 0.152 mm ya que el grano es triturado hasta harina (Kunze W. , 1996).

Tipos de Molino

De acuerdo a Gigliarelli (2004) en la molienda de malta se usan dos tipos de molinos:

Molino de Rodillos

El grano, al pasar entre los rodillos, es aplastado y descascarado. Los rodillos son comúnmente estriados para aumentar la fricción y ruedan en sentido contrario uno del otro. La capacidad y la eficacia de un molino dependen de la longitud, diámetro, velocidad, y separación de los rodillos. Estos molinos pueden tener entre dos y seis rodillos.

Molino de Martillos

Este tipo de molino es usado cuando en el proceso de maceración hay un filtro de placas ya que lo que se produce es harina. La molienda de martillo se realiza con la malta seca. Éste cuenta con piezas móviles que actúan como martillos golpeando y rompiendo los granos contra la pared que tiene perforaciones de 2 a 4 mm de diámetro. La molienda de martillo genera mayores niveles de beta-glucanos en el mosto debido al molido más fino del grano; trayendo posiblemente problemas de filtración en las etapas posteriores del proceso elaboración de la cerveza.

En el anexo 4 se muestra los tipos de molinos de rodillos y de martillos.

Gelatinización del Maíz

En una solución acuosa caliente una amplia cantidad de agua es absorbida por las moléculas de almidón. Esto se traduce en un aumento de volumen que causa que los gránulos de almidón estrechamente agrupadas se hinchen y finalmente revienten. Una solución (pegajosa) viscosa se forma. El grado de viscosidad dependerá del grado de absorción de agua y es diferente para los diferentes cereales. Este proceso, durante el cual no hay degradación química, se llama gelatinización. Debido a que la gelatinización del

almidón no mantiene juntas los gránulos sólidos, estas pueden ser atacadas por las enzimas contenidas en el líquido. (Gigliarelli, 2011)

Mezcla (Mashing- Degradación del Almidón)

La maceración es una de los procesos más importantes en la etapa de cocimiento quizás la que más cuidados requiere de nosotros porque es en ella donde empieza a tomar forma nuestra cerveza y todo lo que nos interesa, sabores, color, cuerpo y espuma dependerá en gran medida de lo que aquí hagamos. Durante el proceso de maceración donde se obtiene lo que llamamos “mosto”, una solución dulce formada, entre otras cosas, por azúcares fermentables, dextrinas, proteínas, aminoácidos y otros elementos.

La maceración consiste en someter una mezcla de agua y granos a una serie de descansos a diferentes temperaturas y tiempos específicos. Podemos decir que, en la maceración, son las enzimas, las que cargan con todo el trabajo.

Una enzima es una proteína catalizadora (catalizador biológico) que tiene la función de acelerar una reacción química energéticamente posible, logrando acortar un proceso que se produciría, de todos modos, sin su presencia pero muchísimo más lento. Tanto la temperatura como el pH son factores importantes para el accionar de las enzimas. Para controlar y ajustar el pH en el proceso de maceración se puede usar ácidos grado alimenticio o soluciones ácidas naturales. Por ejemplo, hay cervecerías que usan ácido fosfórico para ajustar el pH y hay otras que usan el ácido láctico para lo mismo. (Gigliarelli, 2011)

Durante la maceración también se producen otras reacciones como son la degradación de los betaglucanos y de las proteínas. En el primer caso se necesita fomentar la acción de

las enzimas beta glucanasas que necesitan un rango de temperatura recomendado de entre 36 y 45°C y entre 4.5 y 5.5 de pH. Para que estas enzimas cumplan su tarea sin afectar las proteínas responsables del cuerpo y retención de la espuma, será necesario no extender demasiado la duración del descanso (menos de 20min). En el segundo caso es necesario la acción de las enzimas proteolíticas tradicionalmente conocidas como proteasas. La formación de proteínas de bajo peso molecular favorecen el desarrollo de las levaduras, la espuma y el cuerpo en la cerveza terminada Con la degradación de proteínas se busca, entre otras cosas, producir amino nitrógeno libre (FAN) que, en proporciones adecuadas, contribuyen al buen desarrollo de las levaduras impidiendo así fermentaciones lentas o inactivas. (Kunze W. , 1996).

Otras de las reacciones que se realiza durante la maceración es la conversión del almidón. El almidón es un polímero formado por 2 tipos de cadenas polisacáridas: las amilasas y las amilopectinas En granos como los de la cebada, el almidón constituye entre el 63% y el 65% del peso seco y para poder ser utilizado, debe ser convertido a azúcares solubles en agua (azúcares fermentables y dextrinas) y para que esto se logre debe pasar por 3 etapas distintas. Primero se hidrata y aumentan notablemente el tamaño de sus gránulos. Posteriormente, cuando se eleva la temperatura, se gelatiniza y se hace soluble en agua. Por último, el almidón disuelto se expone a la actividad de las enzimas amilasas que rompen sus largas cadenas de moléculas transformándolas en cadenas más cortas. La conversión de estos polisacáridos en azúcares más simples es el aspecto más importante de la maceración y como ya hemos dicho para ello es necesaria la acción de enzimas, fundamentalmente las amilasas alfa y beta y en menor grado, la dextrinasa límite. (Kunze W. , 1996).

La beta-amilasa, conocida también como exoamilasa, es una enzima sacarogénica porque es responsable en gran medida de la “Sacarificación” (producción de azúcares fermentables) y depende para ello del alfa-amilasa. El rango de temperaturas óptima para esta enzima está entre 60°C y 65°C inactivándose a 70°C, mientras que el pH está entre 5.0 y 5.4. El alfa-amilasa reduce la cadena lineal (amilosa) y la ramificada (amilopectina) del almidón, se la conoce como enzima dextrinogénica con poca producción de maltosa. Reduce rápidamente la viscosidad del empaste logrando lo que se conoce como “licuefacción” del mosto. Las condiciones óptimas para su trabajo son: un pH óptimo dentro del rango 5.2 - 5.5, y una temperatura entre los 67°C y los 75°C, desactivándose rápidamente por sobre los 80°C. (Kunze W., 1996).

La dextrinasa límite es una enzima desramificadora, reduce la cantidad de dextrinas límite en el mosto aumentando el porcentaje de azúcares fermentables. Las dextrinas límite son cadenas de glucosa que contienen uniones 1-6 en su estructura y que no fueron convertidas por las amilasas alfa y beta. Estas dextrinas no aportan dulzor a la cerveza pero sí contribuyen a dar sensación de cuerpo en la misma. Esta enzima trabaja bien a temperaturas similares a la de beta-amilasa (entre 60-62.5°C) desactivándose por sobre los 65°C. Necesita además un pH óptimo entre 5.4 y 5.5. A no ser que se busque un mosto muy fermentable, las dextrinas residuales son en realidad deseadas por contribuir positivamente al carácter de la cerveza. (Kunze W., 1996).

En la siguiente figura mostramos la secuencia de la acción de las enzimas en los procesos de licuefacción y sacarificación. En la parte “a” se muestra las largas cadenas compuestas de unidades glucosa de la amilosa y amilopéctica. En la parte “b” se muestra la acción de la alfa-amilasa sobre las cadenas de amilosa y amilopéctica desdoblándolas,

formando dextrinas de 7 a 12 unidades de glucosa. En la parte “c” se muestra la acción de la beta amilasa en los extremos de la cadena separando a dos unidades de glucosa (maltosa). En la parte “d” se muestra los productos del ataque enzimático. (Kunze W. , 1996).

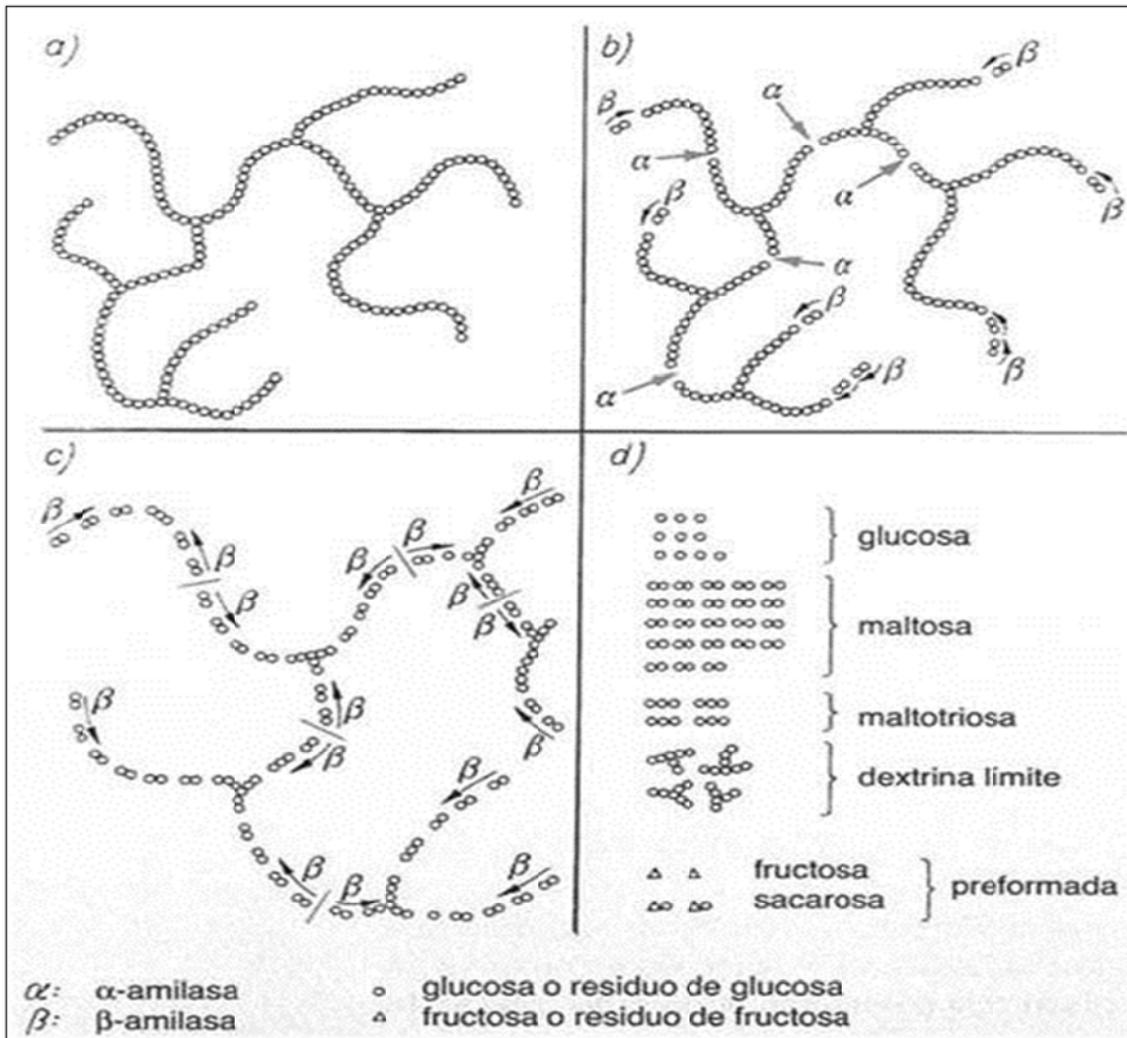


Figura 2. Figura muestra la degradación del almidón durante el mashing. (Kunze W. , 1996)

Factores que afectan las condiciones de maceración

Temperatura

La temperatura influye en la cantidad de extracto producida (rendimiento) y la fermentabilidad del mosto durante la maceración. Dentro del rango normal de maceración, con temperaturas más bajas (62-63°C) hay mayor producción de maltosa y una alta atenuación del mosto lo que se traducirá en una cerveza más alcohólica y con menos cuerpo. En el extremo superior de ese rango (72-75°C), el contenido del mosto resultante será rico en dextrinas, la atenuación será menor (menor contenido de alcohol) y la cerveza tendrá más cuerpo. La inestabilidad de las temperaturas en la maceración comúnmente produce mostos con un alto contenido de dextrinas. (Gigliarelli, 2011)

En el anexo N° 5 mostramos las diferentes temperaturas de maceración.

Tiempo

La duración de la maceración estará dada por la suma de los tiempos de trabajo, determinados por el cervecero, para cada enzima afectada en este proceso. La máxima actividad enzimática se obtiene entre los 10-20 min. y después de 40-60 min esta actividad decrece rápidamente. En regla general se puede decir que maceraciones prolongadas aumentan la producción de extracto en el mosto y si estas maceraciones se realizan a las temperaturas más bajas (62 a 63 °C) habrá mayor fermentabilidad. (Gigliarelli, 2011)

El pH

La actividad de las enzimas depende en gran medida del valor pH. Macerando en un rango de pH de 5.2 a 5.5 se favorece el trabajo de las amilasas y se incrementa la producción de extracto, con más azúcares fermentables y una mayor atenuación. El valor pH del empaste, dependerá del tipo de maltas empleadas, del pH del agua, y del método usado. (Gigliarelli, 2011)

Densidad del Empaste.

Una relación agua-grano menor a 2,1 L/kg producirá empastes de una densidad excesiva que dificulta el mezclado y el filtrado (lautering) de los mismos. La escasez de agua en la mezcla inhibe la acción de las enzimas debido a éstas necesita de un medio líquido para poder realizar su trabajo. Por eso, en empastes densos, la mayor cantidad de agua es absorbida por el grano aumentando la concentración de almidón en el agua restante, reduciendo así el campo de acción para las enzimas. (Gigliarelli, 2011)

Agua de Maceración

Se sabe que la mayor parte del mosto está formada por agua, por lo que la calidad de la misma tiene una influencia importante en todo el proceso. En primer lugar el agua transmitirá sabores al mosto que deben ser tenidos en cuenta a la hora de elegir la fuente.

Muchos de los elementos disueltos en la misma son importantes para la actividad de las enzimas durante la maceración. Por ejemplo una concentración adecuada de iones de calcio (Ca^{2+}) favorecerá la acción de las proteasas y estabilizará las alfa amilasas. Por último,

varios de sus componentes reaccionan con los de la malta variando el pH de la mezcla. (Gigliarelli, 2011)

Filtración del Mosto

Es la parte del proceso que consiste en separar el mosto de la cascara. La filtración se realiza en dos etapas: la primera consiste en obtener un mosto de alto contenido de azúcares y se le llama primer mosto, la segunda consiste en lavar el orujo o afrecho, a este mosto se le llama segundo mosto. El lavado del segundo mosto no debe ser con agua alcalina pues los polifenoles y sustancias amargas de la cáscara de la malta se disuelven muy fácilmente en agua alcalina aún más si se tiene en cuenta que el lavado se hace en agua a una temperatura máxima de 75 °C; a propósito de la temperatura es muy importante no excederse de 75 °C pues se corre el riesgo de disolver almidón presente aún en el afrecho, lo que acarrearía problemas de turbiedad y fermentación posteriores. Existen dos tipos de aparatos donde se realizan la filtración y posteriormente el lavado del afrecho: Cuba filtro y Filtro prensa. (Delgado, 2014)

Ebullición del Mosto

Lo que se busca por lo general en esta etapa es la remoción de compuestos volátiles indeseados, la isomerización de los ácidos del lúpulo, la desnaturalización y floculación de proteínas, la esterilización, la inactivación enzimática, la concentración del mosto, y además es aquí donde se definen el color y algunos sabores y aromas específicos. El proceso consiste en exponer el mosto a una fuente de calor hasta que se alcanza una ebullición constante y se mantiene de esta manera entre 60 y 120 minutos. Los procesos que suceden durante este período son: esterilización del mosto, inactivación enzimática,

efecto del hervor sobre las proteínas, hot break, disolución e isomerización de los lúpulos, evaporación de compuestos aromáticos indeseables, desarrollo del color, concentración del mosto y descenso del valor pH en el mosto. (Gigliarelli, 2009)

Producción de DMS

La formación de DMS y su precursor DMSO (dimetilsulfoxido) durante la producción de malta y cerveza se debe a la descomposición del inactivo precursor SMM (S-metilmetanona) durante el secado de la malta y el hervido del mosto. En la etapa de fermentación también se puede formar el DMS, debido a altas temperaturas de fermentación o si la cerveza es almacenada en caliente. (Kunze W. , 1996)

La reacción de producción del DMS lo podemos expresar de la siguiente forma:

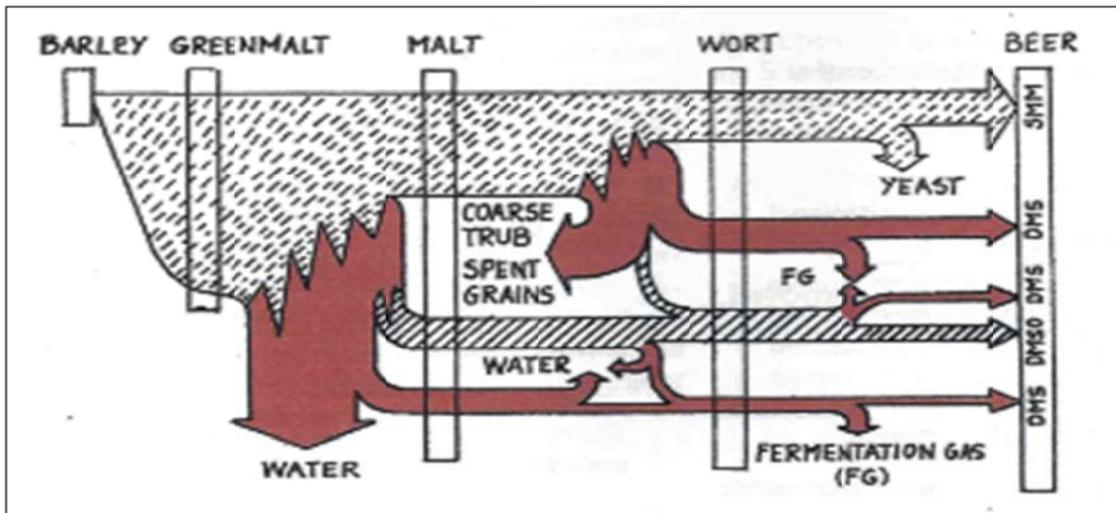


Figura 3. Formación del DMS durante la producción de malta y cerveza. (Kunze W. , 1996)

Enfriamiento y Aireación del Mosto

El enfriamiento del mosto se realiza en dos etapas: la primera etapa ocurre mientras el mosto sufre un período de reposo y sedimentación de las proteínas que fueron coaguladas en la Ebullición, esta etapa dura 20 minutos. Al final de la sedimentación la temperatura habrá bajado hasta unos 85°C - 90°C. La segunda etapa del enfriamiento se desarrolla en intercambiadores de calor de alta eficiencia llamados en cervecería Enfriadores de Mosto. Generalmente son enfriadores de placas fabricados en acero inoxidable y utilizan agua a 1°C - 2°C fluyendo en contracorriente para lograr el enfriamiento total en 1,5 - 2 horas. Al final del enfriamiento el mosto sale entre 8-9°C. (Yepes Garcia, 2007)

Proceso Fermentación y Maduración

A continuación describiremos el proceso de fermentación y maduración.

Propagación de Levadura

Es la etapa donde se obtiene la cantidad de levadura requerida para la fermentación, es decir, suficiente levadura como para sembrar en un fermentador.

Existen tres etapas en la propagación de levadura: aislamiento adecuado de las células de levadura, multiplicación de la levadura en laboratorio, multiplicación de la levadura en planta. (Gigliarelli, 2013)

Siembra, Cosecha y Almacenamiento de la levadura

En esta sección describiremos el tratamiento que se le da a la levadura cervecera.

Siembra de Levadura.

La multiplicación de la levadura no es simplemente adicionarlo al mosto, sino que, debe estar acompañado de suficiente oxígeno como para iniciar una rápida multiplicación. La siembra de levadura es adicionada uniformemente al mosto. Simultáneamente, el mosto debe ser intensamente aireado para que la fermentación empiece rápida y vigorosamente. El contenido de levadura en el mosto debe estar entre 20 a 30 millones de células por hectolitro de mosto. (Gigliarelli, 2013)

Cosecha de levadura

Luego de la siembra de levadura y al final de la fermentación la levadura permanece en el fondo del tanque en tres capas La capa superior es la parte más alta de levadura, esta consiste de partículas de espuma colapsada y de células de levadura. La capa media es el núcleo de la levadura. Esta consiste de células de levadura saludables que pueden fermentar vigorosamente y que tienen el color más ligero. La capa más baja, es decir, la más delgada es la última fase. Esta consiste de levadura junto con partículas de lúpulo y trub. El promedio de cosecha de levadura esta entre 2.0 a 2.5 L/HL de levadura sembrada. Más levadura es obtenida en las cervezas tipo lager que las Ale. La levadura cosechada es usada para el sembrado del siguiente mosto. (Gigliarelli, 2013)

Almacenamiento de Levadura

En la fermentación tradicional o convencional el almacenamiento de la levadura se realiza en tinas o en tanques de presión ambas tienen chaquetas de enfriamiento para mantener la temperatura cercana a 0°C. Después de la cosecha la levadura debe tener una

fase de recuperación, donde pueda renovarse celularmente y pueda estar activa otra vez. A medida que la levadura envejece ésta va perdiendo sus propiedades. Cuando la levadura muestra una tendencia a la degeneración debe ser cambiada por una nueva propagación de levadura (Gigliarelli, 2013)

Proceso Fermentación

Podemos decir que la fermentación es un fenómeno químico-biológico que se produce por la acción anaeróbica (sin oxígeno) de ciertos organismos microscópicos sobre los azúcares contenidos en un medio determinado. Por lo general, estos microorganismos, son levaduras pero también existen otros, como algunas bacterias, que son capaces de actuar del mismo modo. La fermentación es el proceso que más tiempo requiere en la elaboración de una cerveza y en este caso, se busca obtener una fermentación del tipo alcohólica. Normalmente identificamos este tipo de fermentación con la conversión de azúcar (glucosa, maltosa, etc) en alcohol y CO₂, pero remitirnos sólo a eso sería simplificar un proceso que en la realidad es algo más complejo y delicado. (Gigliarelli, 2013)

El mosto antes de pasar al fermentador se debe separar lo que se conoce como turbio caliente (Trub) formado por conjuntos proteínas/polifenoles, materiales ricos en lípidos, componentes insolubles del lúpulo, etc, que coagulan durante el hervor. Una vez separado el trub, se enfría el mosto en el menor tiempo posible hasta llevarlo a la temperatura de inoculación que dependerá de la cepa y la variedad de levadura que se vaya a usar. Durante el enfriado comienza la formación de otro tipo de materia insoluble (turbios fríos) que continuará aún durante la fermentación. Al separar los turbios se eliminan sustancias

indeseables, amargas; se mejora la estabilidad física y la eficiencia de extracto. Una vez clarificado y enfriado el mosto está listo para llenar el fermentador. (Gigliarelli, 2013)

Durante el llenado del fermentador suceden paralelamente dos operaciones: aireación del mosto e inoculación de la levadura. Durante el enfriamiento del mosto se le inyecta aire estéril a presión con la finalidad de disolver mayor cantidad de oxígeno. Este es esencial para el crecimiento de la levadura y por lo tanto para una correcta fermentación. En un mosto normal, rico en nutrientes, el crecimiento de la levadura está limitado por oxígeno. Por lo tanto, variando las dosis de oxígeno se puede tener un control del crecimiento de la levadura y, por consiguiente, de ciertos perfiles en la cerveza.

Una de las formas de incorporar la masa de levadura al mosto es agregándola en línea camino al fermentador una vez que el mosto este frío y aireado, y respetando un factor de dilución calculado. Se debe tener en cuenta, siempre, que conocer, controlar y mantener estable la concentración de levaduras en el mosto se traduce por lo general en una fermentación estable. (Gigliarelli, 2013)

Fases de la Fermentación

La primera fase de la fermentación se la conoce como la fase lag o fase de adaptación y se extiende desde que se activa la levadura hasta el comienzo de una actividad fermentativa apreciable. En condiciones normales, esta fase no va más allá de las 12 horas, un tiempo mayor (más de 24 horas) nos estaría indicando algún tipo de problema. La asimilación de oxígeno se torna importante en esta primera etapa, porque es usado por la levadura para producir los ácidos grasos insaturados y los esteroides esenciales para lograr que las paredes de sus células se vuelvan permeables a los nutrientes del mosto, tales como amino-

nitrógenos y azúcares. Una vez terminada la fase lag o de adaptación, se da paso a la segunda fase llamada de crecimiento exponencial o atenuativa. Se denomina así porque el crecimiento de la población celular aumenta a un ritmo logarítmico debido a la abundancia de nutrientes. (Gigliarelli, 2013)

De acuerdo a (Gigliarelli, 2013), en esta fase de crecimiento de la levadura suceden los siguientes cambios:

1. Primero asimila los azúcares simples, primero la glucosa, luego la fructosa y la sucrosa. Después le toca el turno a la maltosa que es el azúcar que más abunda en el mosto (casi un 60% del total de carbohidratos) y que tiene gran influencia en la formación de compuestos de sabor en la cerveza.
2. Cuando el oxígeno falta, la levadura comienza a metabolizar los azúcares de forma anaeróbica convirtiendo el piruvato, principalmente, en etanol y CO₂. (fermentación alcohólica)
3. La producción de nuevas células se produce por la asimilación de aminoácidos e iones amonio. Esta etapa se caracteriza por la formación de una corona o cresta de espuma conocida como “krausen”, formada por levadura viva y muerta, proteínas del mosto, resinas del lúpulo entre otros compuestos, que de disolverse en el mosto, le darían un sabor desagradable.
4. Durante el crecimiento, la levadura produce precursores de dos componentes, el diacetil y 2,3- pentanodiona son conocidas como dicetonas vecinales. Debemos saber que una tasa de crecimiento desmedida provocará altas concentraciones de estos dos componentes, con sabores indeseables en la cerveza.

5. Se produce, también en esta fase, la mayor parte de la atenuación. La densidad de la cerveza disminuye llegando a medir de $1/3$ a $1/4$ de la densidad inicial. El tiempo que requiere dependerá de la cepa de levadura utilizada y de las condiciones reinantes. Puede ir de los 2 a los 6 días en el caso de las ales, o entre 4 y 10 días cuando se trate de variedades lagers.

A medida que los nutrientes se agotan, la actividad pierde fuerza, la levadura comienza, en su mayoría, a asentarse en el fondo. Al finalizar esta fase, la mayor parte de los compuestos de aroma y sabor de la cerveza, estarán formados, que deberán desaparecer en la siguiente etapa si ésta se realiza correctamente. Este es el momento de transferir la cerveza a un segundo recipiente si el cervecero así lo determine. (Gigliarelli, 2013)

Comienza, entonces lo que se conoce como fase estacionaria o de acondicionamiento. La función de esta etapa es la de reducir todo el fermentable remanente y eliminar los subproductos originados en las fases anteriores tales como acetaldehído, ésteres, aminoácidos, cetonas (diacetil, pentanodiona), dimetil sulfuro, etc. La fase Estacionaria se puede extender varias semanas pero la cerveza no debe quedar más de 3 en contacto con el sedimento. Si el contacto del sedimento con la cerveza se prolonga, la levadura inactiva comienza a morir y produce lo que se conoce como “autólisis”, transmitiendo aromas y sabores desagradables (a levadura, goma, grasas o carne). Una vez que se ha alcanzado el máximo de atenuación se empieza a enfriar el mosto para facilitar la floculación (sedimentación) de la levadura que había quedado en suspensión. Hay que tener en cuenta que este enfriamiento se debe hacer en forma progresiva para darle tiempo a la levadura a que termine de limpiar el mosto de compuestos indeseables, principalmente el diacetil. (Gigliarelli, 2013)

Factores que afectan la fermentación

Los factores que afectan a la fermentación están interrelacionados, es difícil destacar claramente la influencia que un solo factor ejerce sobre la calidad del producto o sobre el desarrollo de la fermentación. Intentar modificar un parámetro del proceso para influir en un resultado casi siempre causa otros resultados, alguno los cuales puede no ser el deseado. Dentro de los factores que afectan a la fermentación están: la cepa de levadura, el proceso de inoculación y crecimiento de la levadura, temperatura de fermentación, la concentración de oxígeno, concentración de zinc, sedimentos(trub), geometría del fermentador y el pH. (Gigliarelli, 2013)

Subproductos de la fermentación

Los subproductos más característicos que se forman son: alcoholes superiores, ésteres, diacetilo (dicetonas vecinales), acetaldehídos, componentes sulfurosos y ácidos orgánicos (Gigliarelli, 2013)

Formación y Eliminación del diacetilo

Es conocido que la producción de diacetilo y 2,3 pentanodiona es originada por la levadura durante la fase lag y de crecimiento. Estos subproductos son formados a través de la oxidación de productos intermediarios como la α -acetolactato y acetohidroxibutirato. Tanto el diacetilo como la 2,3 pentanodiona, vuelven a ingresar desde el mosto a la levadura y ésta las reduce a Acetoína y 2,3 pentanodiol. (Ragoni, 2014)

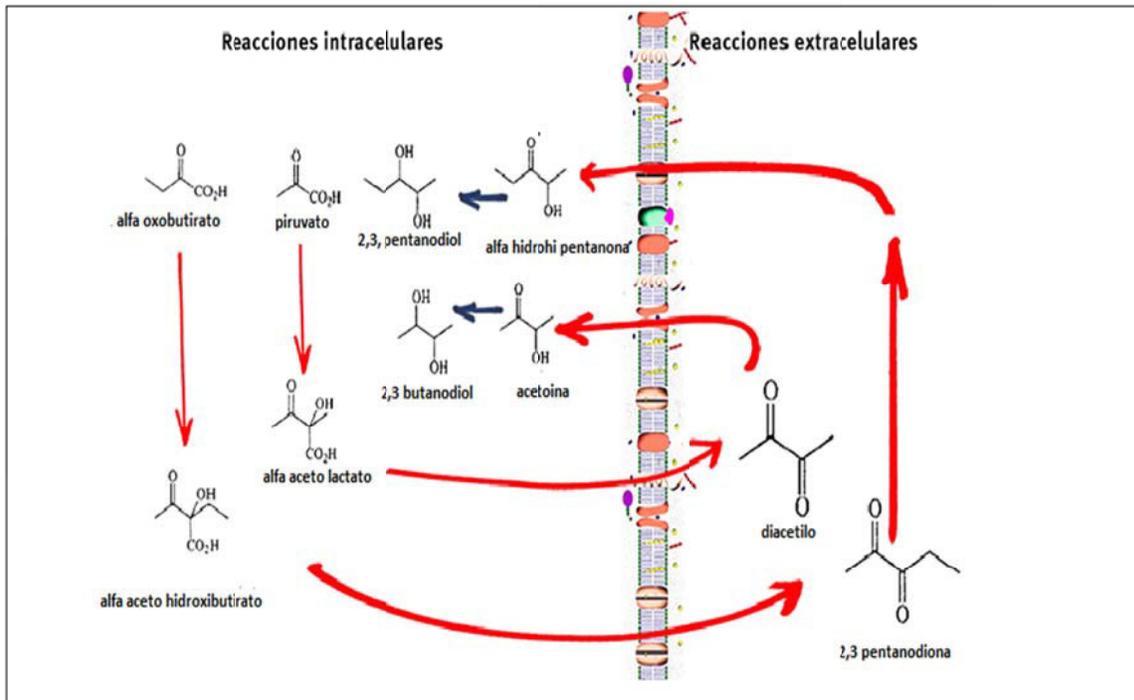


Figura 4. Muestra el mecanismo de formación y eliminación del diacetil (Ragoni, 2014)

Medición del contenido de alcohol en la cerveza

En la elaboración de cerveza y en general en la elaboración de bebidas alcohólicas es necesario saber o calcular el grado alcohólico de nuestro producto final. Para ello se usan fórmulas ya conocidas para este cálculo o equipos que nos permite obtener el grado de alcohol de manera más precisa. De acuerdo a García (2014) las fórmulas usadas en el cálculo de medir el contenido de alcohol son:

$$\text{Masa del Alcohol en la Solución} = (\text{OG} - \text{FG}) * 1.05$$

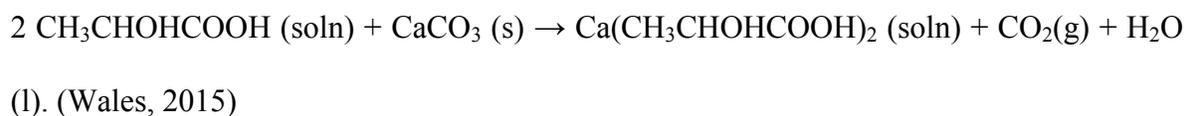
$$\text{Porcentaje de Alcohol por Peso} = \text{Masa del Alcohol en la Solución} / \text{Gravedad Final}$$

Porcentaje de Alcohol en Volumen = Porcentaje de Alcohol por Peso / densidad del alcohol.

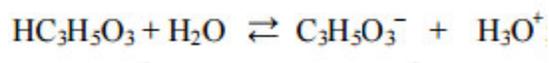
Un ejemplo de cálculo lo mostramos en el anexo 6.

Formación del lactato de calcio

Durante el proceso metabólico de la fermentación la célula oxida la glucosa para producir ácido pirúvico y posteriormente ácido láctico. Este compuesto reacciona con el carbonato de calcio presente en la solución dando lactato de calcio. A continuación la reacción:



De acuerdo a (Wales, 2015) el ácido láctico en solución acuosa puede perder un ion hidrogeno que servirá para reaccionar con el carbonato de calcio, a continuación la reacción de disociación:



Proceso Maduración

Una vez terminada la fermentación la cerveza obtenida se le llama cerveza verde debido a que aún presenta turbidez causada por la presencia de levadura. La maduración es entonces el período durante el cual la cerveza sufre un reposo prolongado con la finalidad de clarificarla mediante un proceso físico de separación y precipitación de las aglomeraciones proteínicas residuales de la malta, los adjuntos y el lúpulo conduciendo todo esto a la mejora de las condiciones organolépticas del producto que será entregado al consumidor final. La maduración se lleva a cabo en tanques metálicos similares a los de

fermentación con la diferencia de que no tienen tan exigentes dispositivos de refrigeración interna porque en esta etapa del proceso ya no hay generación de calor. Sin embargo para contrarrestar el efecto de la temperatura ambiental deberán estar confinados en cavas o cuartos fríos como en las cervecerías convencionales o integradas con camisas de refrigeración graduable como ocurre en los modernos sistemas integrados de uni tanques. (Yepes Garcia, 2007)

La cerveza procedente de los tanques de fermentación es enfriada con mayor intensidad hasta 0°C y enviada mediante bombas a los tanques de maduración en los cuales tendrá un reposo de entre 2 a 6 semanas dependiendo del grado de maduración programado y el esperado refinamiento del sabor que deseemos obtener para el tipo de cerveza y el segmento poblacional para el cual estemos produciendo. (Yepes Garcia, 2007)

Utilización de Clarificantes

Estos agentes sedimentan las moléculas precursoras de la turbiedad, por medios químicos o electrostáticos, facilitan su remoción. Algunos de los clarificantes más utilizados son: Isinglass y la Grenetina. (Faula, 2010)

Proceso Filtración

Es la etapa de la elaboración de cerveza donde a la cerveza procedente de maduración se le da brillo debido a que aún conserva cierto grado de turbidez siendo necesario pasarla por un sistema de filtración. (Yepes Garcia, 2007)

El medio filtrante es el elemento fundamental para la práctica de la filtración y su elección es, habitualmente, la consideración más importante para garantizar el

funcionamiento del proceso. La variedad de medios filtrantes es muy diversa, así tenemos: fibras tejidas, filtros y fibras no tejidas, sólidos porosos o perforados, membranas poliméricas o sólidos particulados, a lo que se suma la gran variedad de materiales: fibras naturales, fibras sintéticas, materiales metálicos, materiales cerámicos y polímeros (Hidalgo, 2014)

La cerveza filtrada se va depositando en tanques de almacenamiento presurizados para evitar su des carbonatación. Durante la filtración se le agrega a la cerveza el gas carbónico, así como estabilizadores y antioxidantes. La cerveza carbonatada y mezclada con agua carbonatada es enviada a tanques de almacenamiento donde permanecerá hasta ser enviada al proceso de envasado (Yepes Garcia, 2007)

Ayudas Filtrantes

Estas son sustancias granuladas o fibrosas que permiten la formación sobre el medio filtrante de una torta pre filtrante adicional de mayor permeabilidad y mayor profundidad, donde quedan retenidas las fases heterogéneas en forma de flóculos deformables o pastas de mayor viscosidad y contenido en sólidos finos (Wales, 2001).

Ejemplos de sustancias frecuentemente empleadas para la ayuda de filtración son:

1. Tierras de diatomeas o tierras diatomáceas (sílice de alta pureza)
2. Perlita o lava expandida (silicato alcalino de aluminio)
3. Fibras de celulosa o pulpa de madera molida
4. Yeso
5. Carbón activado

En general, estas sustancias se caracterizan por su baja densidad, su facilidad para recubrir las superficies del medio filtrante, su compresibilidad, su baja tendencia a sedimentarse y su inercia química con el fluido (Wales, 2001)

Las tierras diatomeas son esqueletos de diatomitas, normalmente su composición es superior al 85% de sílica pura. Las diatomitas son algas unicelulares. Cuando mueren, los restos de sus esqueletos se depositan en los lechos acuíferos en capas masivas. Su particular estructura y composición química le dotan de las características de: estabilidad química, baja densidad global, alta capacidad de adsorción, gran área superficial y baja capacidad de abrasión. Gracias a estas características sirven como ayuda filtrante para la separación de los sólidos suspendidos en un medio fluido. La diatomea tiene una estructura altamente intrincada y porosa, que le permite una gran precisión en la separación. La diferencia de formas y tamaños de las diatomeas dan como resultado ayudas filtrantes con distintas permeabilidades y tamaños, todas ellas con capacidad de ser usadas como coadyuvantes de filtración. Las tierras diatomeas procesadas son también llamadas Kieselguhr. (Tertre, 2014)

La perlita o silicato volcánico es un mineral de roca volcánica que contiene silicio. Después de un proceso de molienda y calentamiento se convierte en un polvo ligero y mullido. Es entonces cuando es útil como ayuda filtrante. (Tertre, 2014)

La celulosa se compone de moléculas ligadas de glucosa; consolida las paredes de las células de la mayoría de las plantas. Como la perlita, la celulosa posee una estructura interna menos intrincada que la diatomea. La celulosa es más compresible que las tierras diatomeas, es decir, a altas presiones la torta tiene más tendencia a comprimirse. Esto puede

dar lugar a la liberación de partículas ya retenidas en la torta de filtración. Si la torta se comprime disminuirá la permeabilidad y por tanto se reducirá el caudal de cerveza que puede atravesar la torta. Una desventaja del uso de esta ayuda filtrante es que el coste por kilo es mayor en comparación con el de las tierras de diatomeas y de las perlitas (Tertre, 2014)

Concentración de tierras diatomeas en la solución a filtrar

Determinar el tipo de ayuda filtrante a usar, la concentración y la cantidad a dosificar de ayuda filtrante durante la filtración, son parámetros que el cervecero debe evaluar para obtener un producto final de calidad al menor costo posible. Estos parámetros no son fijos, es decir, no siempre usaremos lo mismo, sino que, dependerá del tipo de cerveza filtrar y ésta a su vez dependerá de la calidad de la materia prima y de una adecuada fermentación. La concentración de la ayuda filtrante en la filtración de cerveza se basa en la relación de Kg de ayuda filtrante a usar por HL de agua desaireada y carbonatada. Así, tenemos que en la filtración industrial se usan relaciones de 1 a 6 o de 1 a 7 y estas son preparadas en tanques hechos para tal fin. Otra medida que se usa para determinar si una concentración es la adecuada es el porcentaje de sólidos de la mezcla ayuda/agua y esta se determina obteniendo una muestra de la solución preparada y luego haciéndola pasar por la centrifuga. Para una relación de 1 a 7 el porcentaje de solidos sale aproximadamente 45%. (Tertre, 2014)

Agentes Estabilizantes

La adición de agentes estabilizadores “puede” retardar pero no evitar la formación de turbideces coloidales no deseadas. Por ello, las cervezas de estabilidad prolongada son

estabilizadas adicionalmente con preparados como el silicagel y/o polivinilpolipirrolidona (PVPP). Al estabilizar las cervezas también se puede evitar la turbiedad no biológica, no teniendo problemas como es el caso de la no formación y homogeneidad de la espuma (Balcells, 2013)

Los clarificantes que son efectivos contra las levaduras son generalmente inefectivos contra el chill haze, porque las partículas que lo forman están cargadas positivamente. Para que estas se agrupen y sedimenten se agrega clarificantes cargados negativamente, estos compuestos son la Silica y el PVPP o conocido como Polyclar. (Koroluk, 2014)

El llamado Silica Gels, es un gel en polvo sin sabor que propicia la absorción de las proteínas que causan la turbidez. Su uso excesivo puede afectar a la retención de espuma y al sabor. El ratio de adición es de entre 5 y 10 gramos cada 20 litros. (Ro, 2014)

El polyclar funciona removiendo los polifenoles específicos en la cerveza a través de las uniones y puentes de hidrogeno y se elimina posteriormente durante la etapa de filtración. A través de la reducción de estos precursores de turbidez, se obtiene una cerveza sustancialmente más estable. (Wulfsohn, 2014)

Concentración de los agentes estabilizantes

El uso de estabilizantes en la elaboración de cerveza dependerá de la calidad de malta y de la estandarización de los procesos. Un estabilizante en la elaboración de cerveza tiene por finalidad asegurar la no formación de turbios. Esta se agrega antes de la filtración final. La concentración de estabilizantes dependerá de la concentración de proteínas y polifenoles de la cerveza a filtrar, las concentraciones de estos compuestos dependerá a su vez de la calidad de malta usada en la elaboración del mosto. Para determinar que concentración de estabilizante usar se debe recurrir a métodos de análisis químicos u otros métodos que

hallen la cantidad de proteínas y polifenoles de la cerveza a filtrar, además, se debe asegurar la estandarización de los procesos operativos. (Wulfsohn, 2014)

Hay métodos donde la cerveza final estabilizada se le somete a ciclos de temperatura para determinar después de cada ciclo la turbidez del producto, uno de estos métodos es el llamado el TEST FORZADO. Si la turbidez es mantenida en niveles de control aceptables o normativos, podemos asegurar que la concentración de estabilizante usada es la adecuada. La concentración de estabilizantes se le agrega a la cerveza concentrada y está calculada en gr por Hl de cerveza concentrada. Por ejemplo para una cerveza concentrada con un valor inicial de 256 ppm de proteínas se agrega 25gr/Hl de silica. El resultado de proteínas en la cerveza final nos dará un valor aproximado de 140 ppm. Este valor de dosificación de silica es obtenido de prueba y error del valor final de proteínas. Es necesario evaluar una dosificación de silica adecuada, es decir, no agregar por agregar, ya que el exceso de estabilizante puede afectar otros parámetros importantes como la espuma y la filtrabilidad de la cerveza. (Balcells, 2013)

Agua Des aireada y Carbonatada

La reducción del nivel de oxígeno disuelto en agua a valores por debajo de 0,2 a 0,3 ppm es imprescindible para evitar la oxidación del producto final. La técnica más común de des aireación del agua combina un sistema de saturación de CO₂ bajo condiciones de vacío. Con ello obtenemos un agua de gran calidad, lista para su mezcla con el producto terminado en la planta de blending o simplemente como fluido a utilizar en las fases de empuje y recuperación de producto. Las alternativas existentes para eliminar el O₂ del agua son básicamente las siguientes tres: des aireación por vacío, térmica y química, siendo las últimas dos las utilizadas con mayor frecuencia. (Cornejo, 2011)

Carbonatación y Blending

Carbonatación y Blending son dos conceptos íntimamente ligados en la industria de bebidas.

Carbonatación

Una gran parte de refrescos que se consumen en el mundo son sometidos a procesos de carbonatación, bien sea para dotarles de esa efervescencia característica fruto de la dilución del ácido carbónico, como también para conseguir un efecto conservante mediante la reducción del pH. En la elaboración de la cerveza, el proceso de carbonatación es natural y propio de la fermentación. En este caso, las plantas de carbonatación permiten controlar y añadir el carbónico necesario para estandarizar el resultado final. (Muller, 2014).

Blending

En la industria cervecera, la implantación de un sistema de Blending permite incrementar la capacidad de producción hasta un 15% sin necesidad de ampliar las bodegas.

El procedimiento consiste en la fermentación de una cerveza estándar de alta densidad o high gravity. En función del tipo de cerveza a comercializar, se procede a su dilución mediante la mezcla con agua des aireada. El proceso de blending es previo al de carbonatación, aunque muy habitualmente se funden en un único sistema de blending-carbonatación-mezcla, permitiendo así optimizar la cantidad de instrumentación necesaria. (Muller, 2014)

CAPITULO 3

Resultados de la Actividad Profesional

En la actividad profesional de la elaboración de cerveza, hemos desarrollado múltiples mejoras en las tres etapas de la producción de cerveza, es decir, en cocimiento, fermentación y filtración, por ello mencionaremos dos casos que ejemplifican estas mejoras.

Para uniformizar el desarrollo de los casos seguiremos la siguiente estructura: Oportunidad de Mejora, objetivo, marco teórico, procedimiento y resultados antes y después

Caso 1

Reducción de la Variabilidad del pH y del Consumo de Ácido Fosfórico en la Paila Mezcladora y el Aumento del Rendimiento de la Materia Prima en la Etapa de Cocimiento

Oportunidad de Mejora

En la etapa de elaboración del mosto y durante la conversión de los carbohidratos de alto peso molecular a carbohidratos de bajo peso molecular o azúcares, es muy importante el control del pH de la solución ya sea en la paila de adjuntos o en la paila de conversión o mezcladora ya que de ella dependerá la eficiencia de la acción enzimática (la amilasa), es decir, un adecuado pH resultará en una mayor conversión a azúcares y por tanto un mayor rendimiento de la materia prima. Con las mismas materias primas usadas obtenemos mayor volumen de mosto con mayor concentración de azúcares.

Empezaremos describiendo el problema: El pH de la mezcla agua-malta molida, en la paila mezcladora era muy variable al inicio del proceso, es decir, el pH medido en un punto de la superficie de la mezcla y otro opuesto eran diferentes, oscilaba entre 5.2 y 5.7, cuando debería estar entre 5.4 y 5.5. Para corregir esta aparente diferencia se agregaba más ácido con lo que se incurría en más consumo de este insumo. Finalmente, al no estar homogenizada la mezcla con el ácido, no había una buena acción enzimática lo que afectaba la eficiencia de la materia prima.

Objetivo

Como se mencionó líneas arriba la oportunidad de mejora se concentraba en tres objetivos:

- 1.- Reducir la variabilidad del pH, es decir, reducir la diferencia de pH entre dos puntos escogidos aleatoriamente, en la superficie de la mezcla, además de, obtener un pH entre 5.4 y 5.5.
- 2.- Reducir el consumo de ácido fosfórico, en el proceso de mezcla.
- 3.- Aumentar el rendimiento de materia prima, es decir, obtener más volumen de mosto con mayor concentración de azúcares. El rendimiento de materia prima se mide por la relación: $\text{kg extracto obtenido/kg de extracto inicial}$.

Marco Teórico

En la elaboración del mosto base para la obtención de cerveza es necesario contar con agua cervecera, malta, adjuntos y lúpulo. Estas materias primas son la base para los

diferentes tipos de cerveza. En algunas plantas de elaboración de cerveza, así como en algunas marcas tipo premium no utilizan adjuntos.

Acondicionamiento del Agua

La elaboración de cerveza exige que el agua usada en el proceso tenga las condiciones de potabilidad y exenta de micro organismos, además, de las características de aroma, color y sabor. Las cervecerías obtienen el agua a través de pozos donde se colectan el agua proveniente de la capa freática., o de la red pública. Para elaborar cerveza debemos asegurar que el agua contenga los minerales adecuados que le den al producto final la característica del tipo de cerveza a obtener. Para el tratamiento del agua se usa procedimientos de des carbonatación y desmineralización para reducir la alcalinidad o iones respectivamente. También son usados procedimientos de electrodiálisis y de osmosis inversa.

El tratamiento del agua cervecera evita obtener un producto final con sabores extraños o presencia de turbidez y ayuda a desarrollar procesos como la fermentación en forma normal.

Los minerales que requieren más atención en el tratamiento de aguas para la elaboración de cerveza son: Calcio, sulfatos, cloruros, manganeso y zinc. En la Tabla 4 se muestra el contenido de minerales en el agua usada en Backus.

Además, del contenido de sales minerales en el agua cervecera es importante averiguar y regular la alcalinidad y dureza de ésta. El adecuado contenido de sales de calcio y de magnesio, componentes de la dureza, ayudaran a procesos posteriores tales como la

fermentación y en especial a la vida de la levadura a ser más eficientes. (Rocker, 2012). En la Tabla 5 se muestra el contenido de alcalinidad y dureza del agua usada en Backus.

Malta

Otra materia prima importante en la elaboración de cerveza es la malta. La malta es la fuente de carbohidratos y de enzimas que se necesitan para la obtención del mosto en la etapa de cocimiento, insumo para obtener cerveza en la etapa de fermentación.

La especie de cebada más extendida y cultivada es la *Hordeum Vulgare*, a pesar que existen 16 especies originarias de países calientes y templados en todo el mundo. La cebada es sembrada en verano e invierno y producen variedades de cebadas que dependen del arreglo de los granos en la espiga de la cebada, estas pueden ser de dos hileras y de multi hileras.

En la siembra es importante contemplar los siguientes parámetros: resistencia a enfermedades y parásito, cáscara resistente, alta capacidad para aprovechar los nutrientes, alto rendimiento del grano, buena forma y distribución del grano, alto flujo de absorción de agua y bajo sensibilidad al agua, bajo contenido de nitrógeno, alta energía germinativa y madurez en el malteado, alta formación de enzimas, habilidad de una modificación, alto rendimiento de extracto en el malteado. (Floch, 2014)

Durante el malteado de la cebada se forman complejos enzimáticos necesarios para obtener el mosto, de igual forma se formaran complejos proteicos, algunos servirán para la alimentación de la levadura y otros ayudaran a la formación de espuma.

La malta es la materia prima resultante del malteado de la cebada. Este proceso de maltear la cebada sirve para enriquecer al grano de las enzimas, proteínas y carbohidratos que servirán a la formación del mosto. El cervecero tendrá que hacer una evaluación de la malta a través de pruebas fisicoquímicas, organolépticas y fisiológicas para analizar parámetros como la humedad, extracto, color, turbidez, proteínas y viscosidad entre otros. El análisis de estos parámetros se realiza por la maceración de la malta llevándolo a temperaturas óptimas de trabajo de las principales enzimas presentes en la malta, este proceso se le llama mosto congreso. (Floch, 2014)

Adjunto

El uso de adjuntos se empezó a usar en Norteamérica como sustituto parcial de la malta debido al alto contenido de almidones, es decir, a una fuente rica de obtención de carbohidratos. El exceso de complejos enzimáticos de la malta contribuyó al uso de adjuntos. Estos pueden ser de maíz, de arroz incluso de trigo. (Kunze W. , 1996)

Procedimiento

Como mencionamos los problemas presentados en la conversión eran la variabilidad del pH en la mezcla, agua-malta y el exceso de uso de ácido fosfórico. Para llegar al objetivo deseado tuvimos que hacer uso de herramientas de calidad, primero la tormenta de ideas y luego la espina de pescado de Ishikawa. Estas herramientas nos dieron las primeras premisas para resolver el problema. En la figura N°5 mostramos la espina de pescado.

En el análisis de causas realizada al problema de variabilidad del pH tuvimos que realizar mediciones de ésta a la materia prima involucrada, antes, durante y después de la

mezcla final. Así se obtuvo los siguientes resultados en la paila mezcladora y durante la agitación:

pH del agua6.8

pH de la mezcla (malta agua).....5.8

Inmediatamente se toma el pH a la mezcla una vez añadido el ácido fosfórico, es decir, para una carga de 9120 KG de malta y 280 HL de agua, se añadía directamente a la paila 2 litros de ácido fosfórico grado alimenticio. Los resultados fueron los siguientes:

pH de la mezcla en el punto 1.....5.6

pH de la mezcla en el punto 2.....5.2

De los resultados se demostró que después de añadir el ácido fosfórico la homogenización del ácido no era la mejor en la paila mezcladora o de conversión. El valor de pH para una óptima conversión debe estar entre 5.4 y 5.5 (punto 1 y punto 2 se refiere a dos puntos distintos de la mezcla).

Acciones a realizar

De los resultados obtenidos una primera acción a realizar fue regular la agitación de las cuchillas de la paila, es decir, aumentar las rpm de 18 a 25.

Se observa mejora, pero no la suficiente, sigue habiendo valores distintos en los puntos 1 y 2, es decir, 5.3 y 5.55 respectivamente.

Como segunda opción fue agregar más ácido fosfórico por tanto pasamos de 2 litros a 3 litros, no hubo mejoría significativa.

Otra alternativa fue primero agregar los dos litros de ácido fosfórico, solo al agua, en la paila, antes que se mezcle con la malta molida. Con este procedimiento el pH de la mezcla, agua más malta molida disminuyó, es decir, el pH estuvo entre 5.2 y 5.3, además, el tiempo del proceso aumentó en 17 minutos más.

Finalmente, tuvimos la alternativa de agregar los dos litros de ácido fosfórico durante el llenado del agua en el tanque de agua que sería usada en la paila de conversión. Cuando el agua acidificada bajó a la paila y se mezcló con la malta molida se obtuvo valores de pH entre 5.3 y 5.4. Al bajar la cantidad de ácido a 1.5 litros el pH se estableció entre valores de 5.4 y 5.5.

La operación de agregar el ácido directamente al tanque durante el llenado era una operación riesgosa ya que consistía en subir una escalera de 6 metros que era la altura donde se encontraba la tapa del tanque.

Para solucionar el problema se instaló en cada tanque de agua de un sistema neumático de bombeo de ácido fosfórico ver figura N°6. El sistema consistía de un tanque de 20 litros, de acero inoxidable en la que en la parte superior (tapa) tenía un ingreso de aire de 2.5 bar de presión que empujaba el contenido, ácido fosfórico, a través de línea, hacia la parte superior del tanque de agua de 400HL en el momento en que este se estaba llenando, dándole al agua el pH adecuado, 5.4 ó 5.5.

Con este sistema se uniformizó el pH en cada subproceso de la elaboración del mosto y se estableció un consumo fijo del ácido fosfórico.

Resultados

Desde un punto de vista de la calidad, se obtuvieron mostos con pH más estables, entre 5.4 y 5.5, lo que significó mejorar otros procesos, tales como la extracción del amargo y la formación del trub en la paila de ebullición, en el proceso de fermentación, donde la irregularidad del pH puede infectar el producto ya que las bacterias se pueden desarrollar en un medio poco ácido.

Desde un punto de vista de gestión, el uso adecuado del ácido fosfórico redujo el consumo de éste, es decir, el consumo de lo variable que era, se estableció un valor fijo para el caso fue de 2 LT/HL. Además, la homogenización del pH aumentó el rendimiento de la materia prima subiéndola de 94% a 97%, y la concentración de azúcares de 15.6°P a 15.9°P, ambos parámetros influyen en los indicadores de costos.

En las figuras N° 7, mostramos las gráficas de control del comportamiento del pH de la mezcla, en la figura N° 8 mostramos el consumo de ácido fosfórico y en la figura N° 9 la eficiencia de la materia prima, antes y después de la mejora.

Conclusiones

- 1.- El valor del pH final al mezclar el ácido fosfórico con el agua y luego con la malta molida no era el mismo que al mezclar el agua con la malta molida y luego con el ácido fosfórico, el primero tenía un pH menor que el segundo, es decir, 5.2 y 5.5 respectivamente.
- 2.- La homogenización del pH de la mezcla con el ácido no era lo suficientemente buena cuando éste era agregado directamente por la ventana de la paila.
- 3.- Usar herramientas de calidad para solucionar este problema marcó una forma de trabajo, que involucró por primera vez al personal operario.

4.- La uniformidad del pH en la solución de la paila de conversión ayudó definitivamente a otros procesos pero fundamentalmente ayudo al rendimiento de la materia prima. Sólo este logro elevó en promedio 10 HL el volumen final de mosto, estamos hablando de 130 cajas de cerveza más por cada cocimiento a la semana son 6240 cajas.

Recomendaciones

1.- Como una primera medida de agregado del ácido fosfórico al tanque de agua se recomendó instalar un equipo mecánico que empujaba el total del ácido contenido en un tanque por presión de aire hacia el tanque de agua. La homogenización del ácido se producía por la turbulencia que generaba el llenado del tanque. Era sumamente riesgoso hacerlo desde la tapa del tanque de agua. Sin embargo, se realizó una segunda recomendación y fue la de dosificar el ácido fosfórico en la línea de agua que llenaba el tanque.

2.- Como corolario de la primera recomendación fue pedir que todas las sales que se usaban en las pailas durante la etapa de cocimiento se dosificaran en línea.

3.- Capacitar al personal supervisor en herramientas de calidad tales como PDCA (Plan, Do, Check and Act) y mejora continua en la solución de problemas.

4.- Instalación de un mini laboratorio en el área de cocimiento con la finalidad de ser más oportunos en el desarrollo de la producción.

Tabla N° 4

Análisis de los minerales del agua de proceso

ID	Cloro Libre	Cloruro	Calcio	Magnesio	Carbonatos	Bicarbonato	Fosfato	Solidos	Conductividad	Sulfatos	Aspecto	Color	Olor	Sabor
	ppm							Disueltos Totales						
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	Us/cm	ppm				
24/11/2015	0.29	41	48.09	1.47	0	45.14				N	N	N	N	N
23/11/2015	0.26	40	50.5		0			218	311	N	N	N	N	N
22/11/2015	0.3	40	49.7	1.47	0	40.26		220	315	N	N	N	N	N
21/11/2015	0.29	46	46.49	1.47	0	29.28		228	326	N	N	N	N	N
20/11/2015	0.3	42	46.49	2.45	0	32.94		217	310	N	N	N	N	N
19/11/2015	0.28	42	45.69	1.96	0	26.84		211	301	N	N	N	N	N
18/11/2015	0.26	45	45.69	1.47	0	24.4		210	300	N	N	N	N	N
17/11/2015	0.27	46	44.89	1.47	0	31.72		219	313	N	N	N	N	N
16/11/2015	0.27	46	44.89	1.47	0	31.72		211	302	N	N	N	N	N
14/11/2015	0.22	46	44.09	1.47	0	26.84		214	305	N	N	N	N	N
13/11/2015	0.27	39	44.89	1.47	0	39.04		214	305	N	N	N	N	N
12/11/2015	0.28	35	45.69	0.98	0	31.72		216	308	N	N	N	N	N
11/11/2015	0.29	37	47.29	1.47	0	34.16	0		299	N	N	N	N	N
10/11/2015	0.29	46	47.29	1.96	0	41.48		221	315	N	N	N	N	N
09/11/2015	0.28	44	45.69	0.98	0	31.72		217	310	N	N	N	N	N
07/11/2015	0.29	42	47.29	1.96	0	39.04	0	114	306	N	N	N	N	N

Fuente: (Johnston, 2015) La tabla adjunta muestra los análisis de minerales que se le hacen al agua cervecera.

Tabla 5

Análisis de la dureza del agua de proceso

ID	Planta	Fecha Muestreo	Año	Alcalinidad Total ppm	Alcalinidad Residual ppm	Dureza Total ppm	Dureza Cálcica ppm	Dureza Magnésica ppm	Dureza Temporal ppm	Dureza Permanente ppm
24/11/15_1_TK COC	Ate	24/11/2015	2015	37.33	0.10	127.11	121.06	6.05	37.33	89.78
23/11/15_1_TK COC	Ate	23/11/2015	2015	38.33	0.08	131.14	127.11	4.04	38.33	92.81
22/11/15_1_TK COC	Ate	22/11/2015	2015	33.29	-0.19	131.14	125.09	6.05	33.29	97.85
21/11/15_1_Tanque Cocimiento	Ate	21/11/2015	2015	24.21	-0.57	123.07	117.02	6.05	24.21	98.86
20/11/15_1_TK COC	Ate	20/11/2015	2015	27.24	-0.43	127.11	117.02	10.09	27.24	99.87
19/11/15_1_Tanque Cocimiento	Ate	19/11/2015	2015	22.19	-0.66	123.07	115.00	8.07	22.19	100.88
18/11/15_1_Tanque Cocimiento	Ate	18/11/2015	2015	20.18	-0.76	121.06	115.00	6.05	20.18	100.88
17/11/15_1_Tanque Cocimiento	Ate	17/11/2015	2015	26.23	-0.39	119.04	112.99	6.05	26.23	92.81
16/11/15_1_Tanque Cocimiento	Ate	16/11/2015	2015	26.23	-0.39	119.04	112.99	6.05	26.23	92.81
14/11/15_1_Tanque Cocimiento	Ate	14/11/2015	2015	22.19	-0.58	117.02	110.97	6.05	22.19	94.83
13/11/15_1_Tanque Cocimiento	Ate	13/11/2015	2015	32.28	-0.05	119.04	112.99	6.05	32.28	86.76
12/11/15_1_Tanque Cocimiento	Ate	12/11/2015	2015	26.23	-0.40	119.04	115.00	4.04	26.23	92.81
11/11/15_1_TK COC	Ate	11/11/2015	2015	28.25	-0.37	125.09	119.04	6.05	28.25	96.84
10/11/15_1_Tanque Cocimiento	Ate	10/11/2015	2015	34.30	-0.05	127.11	119.04	8.07	34.30	92.81
09/11/15_1_Tanque Cocimiento	Ate	09/11/2015	2015	26.23	-0.40	119.04	115.00	4.04	26.23	92.81
07/11/15_1 TK COC	Ate	07/11/2015	2015	32.28	-0.16	127.11	119.04	8.07	32.28	94.83

Fuente: (Johnston, 2015) La tabla muestra el contenido de la alcalinidad y dureza del agua cervecera.

CAUSE & EFFECT (FISHBONE) DIAGRAM

Project Name:	Homogennización del pH
Date:	
Prepared By:	Gabriel Arana
Notes:	

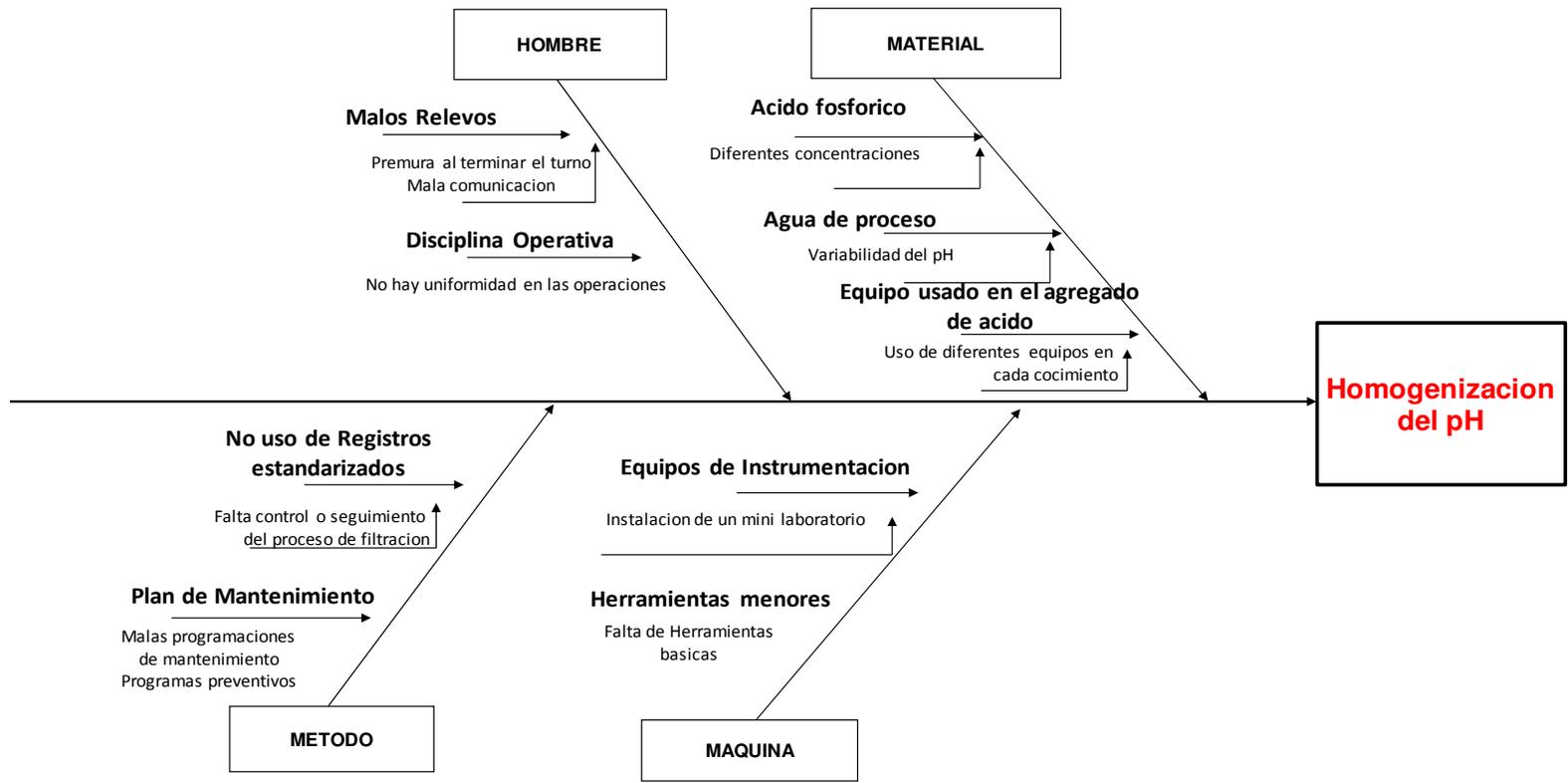
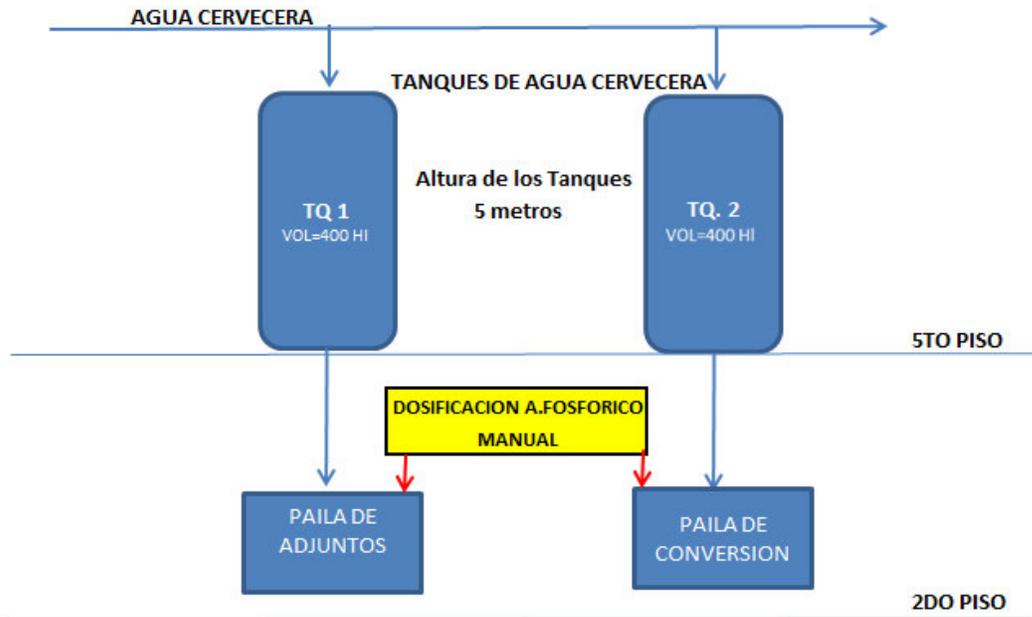


Figura N°5.- (Arana, 1994) La figura muestra las causas que afectan la homogenización del pH.

DIAGRAMA DE FLUJO INGRESO DE AGUA CERVECERA A LAS PAILAS

ESTADO INICIAL



ESTADO FINAL

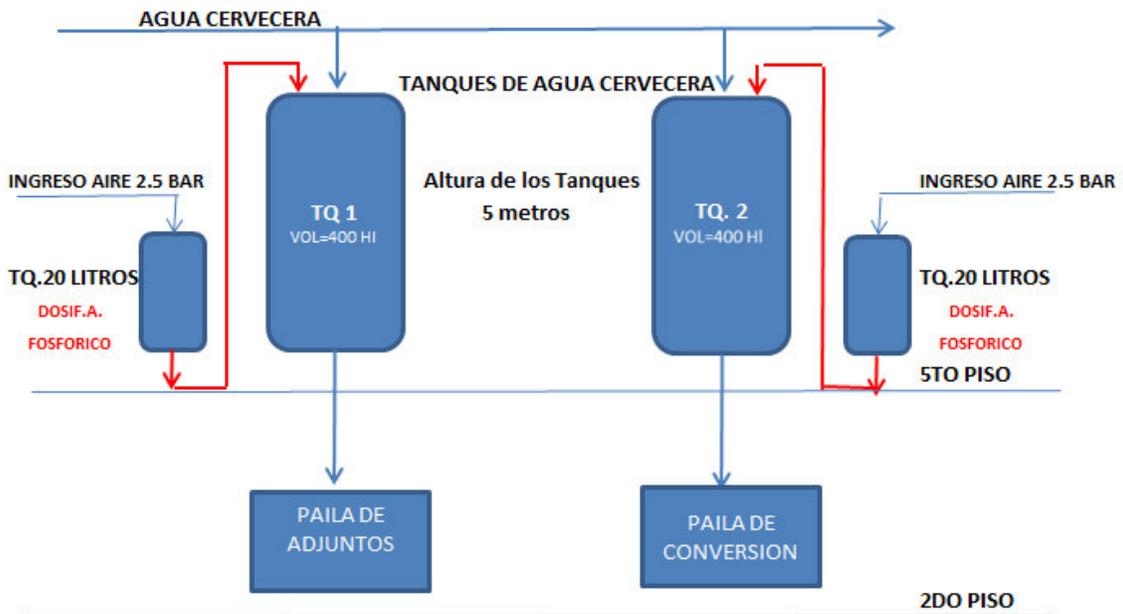


Figura N° 6. (Arana, 1994) La figura muestra el cambio de dosificación de ácido fosfórico.

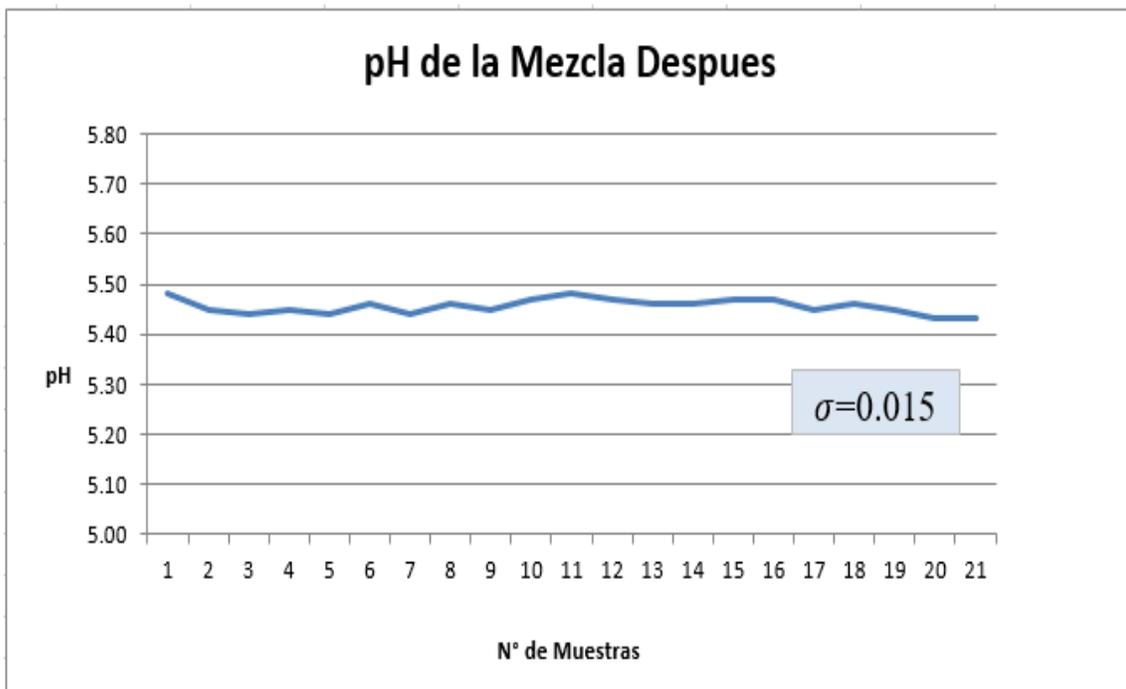
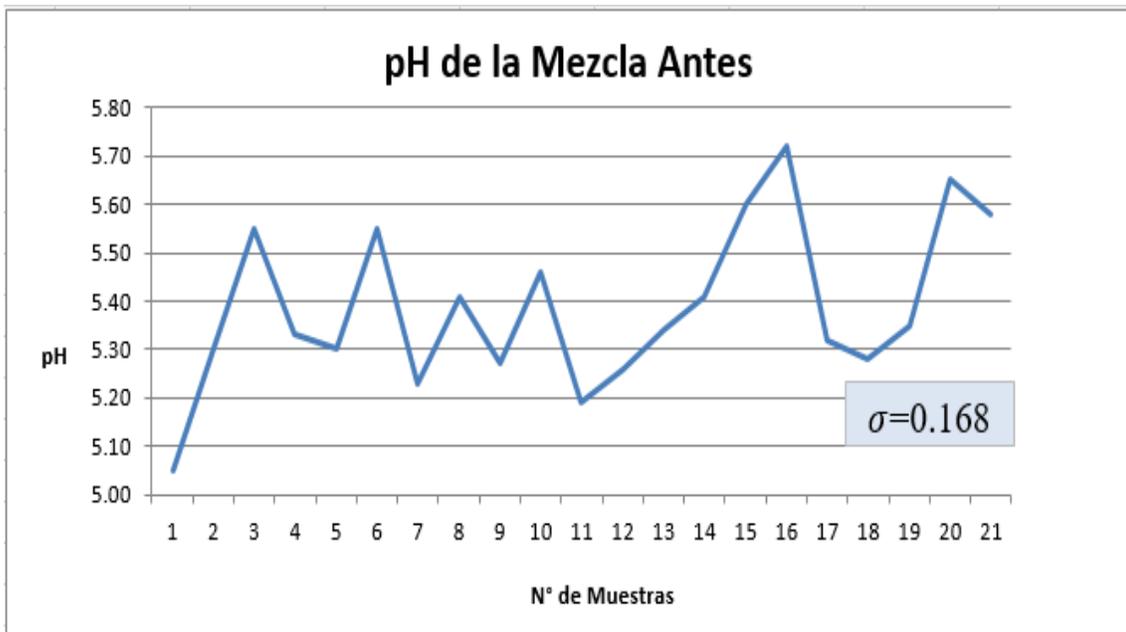


Figura N° 7 (Arana, 1994). Las figuras reflejan el comportamiento del pH de la mezcla antes y después.

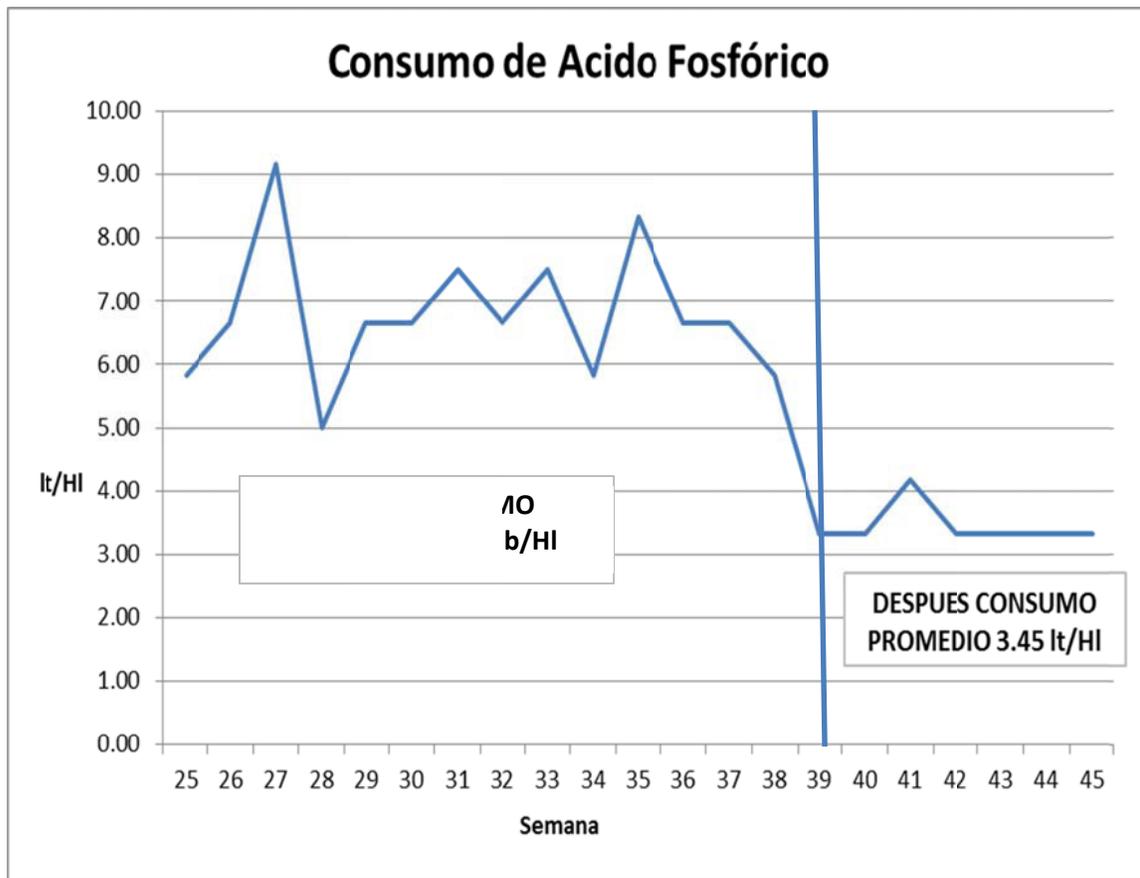


Figura N° 8. (Arana, 1994) La figura muestra el consumo del ácido fosfórico antes y después de la mejora.

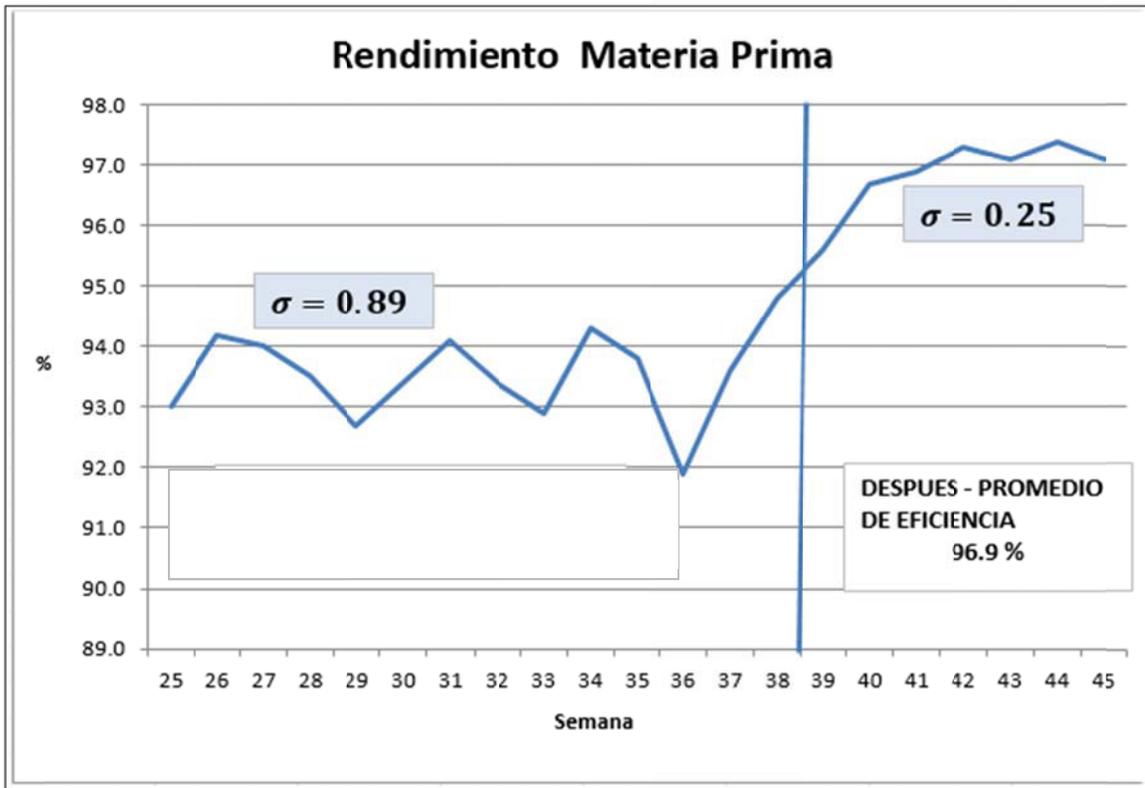


Figura 9. (Arana, 1994) Eficiencia de materia prima antes y después.

Caso 2

Reducción del Consumo de Ayuda Filtrante / Etapa de Filtración de Cerveza

Oportunidad de Mejora

En esta etapa de la elaboración de cerveza es muy importante obtener una cerveza final de calidad al menor costo posible. El mayor costo que incide con fuerza en esta etapa es el consumo de ayuda filtrante.

Un primer análisis del consumo de ayuda filtrante de los últimos 19 meses (entre Marzo del 2012 y Setiembre del 2013) muestra que estos no han sido regulares, los valores han oscilado entre 131 gr/HL a 164 gr/HL, como lo muestra la siguiente figura.

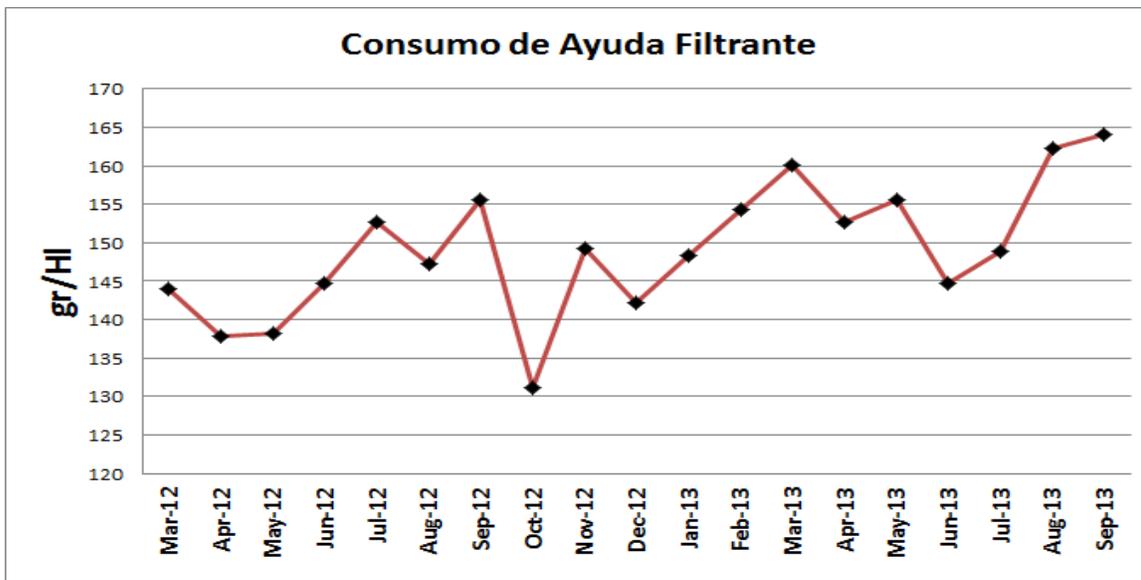


Figura 10. (Arana, 2013) Figura que muestra el consumo de ayuda filtrante en gr/HL al inicio del proyecto.

La variabilidad del consumo la podemos atribuir en un análisis preliminar a la variabilidad de la máquina, del material, del hombre y del método, como lo mostramos en la siguiente figura.

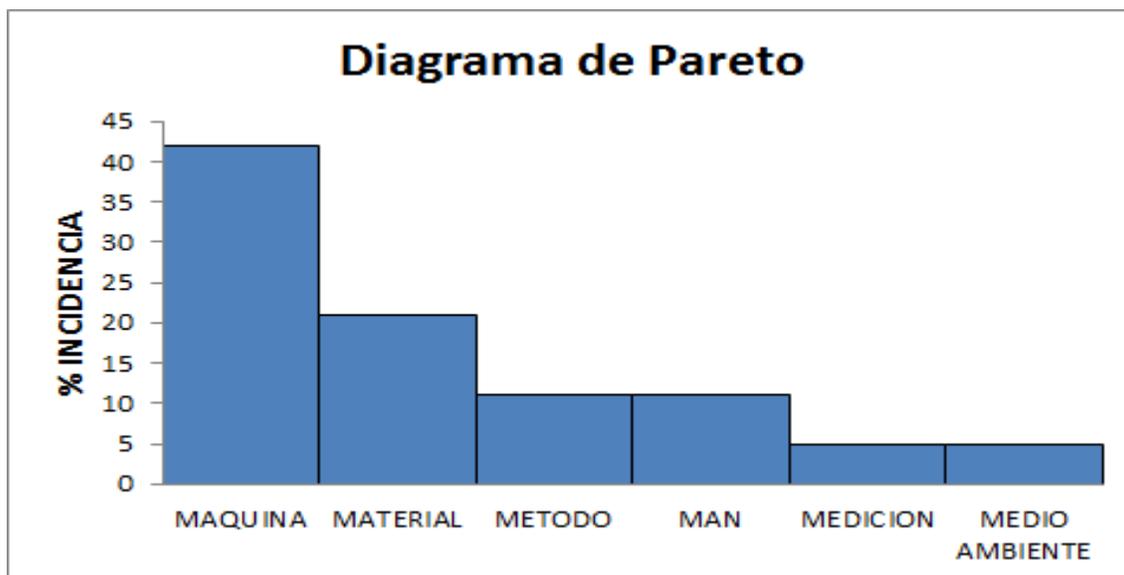


Figura 11. La figura muestra las causas de variabilidad en la incidencia en el consumo de ayuda filtrante, bajo el análisis de las 6 M. (Arana, 2013).

Estaremos centrando el proyecto en la reducción del consumo de ayuda filtrante en la filtración de cerveza por los filtros krones y Steinecker que son los que consumen mayor ayuda filtrante e impactan en el indicador general.

Objetivo

Como se mencionó líneas arriba el objetivo del proyecto es estabilizar y reducir el consumo de ayuda filtrante, es decir, alcanzar un consumo de 130 gr/HL.

El efecto de alcanzar el objetivo tuvo resultados indirectos positivos tales como:

1. Aumento del tiempo de filtración por lo que el volumen filtrado será mayor.

2. Reducción del consumo de agua en el lavado del filtro.

3. Mayor tiempo para las operaciones de limpieza.

Marco Teórico

La etapa de filtración es la parte de la elaboración de la cerveza en la que obtenemos el producto final, es decir, una cerveza brillante y estabilizada. En realidad es la culminación de un largo proceso de elaboración.

En esta etapa se debe tener en cuenta los insumos de filtración y estabilización, los equipos de filtración y las metodologías de operación. (Hidalgo, 2014)

Otro tema a tener en cuenta que no participa como tal en la filtración, es el proceso de blending, es decir, la mezcla de agua carbonatada y des aireada con cerveza. (Cornejo, 2011)

Ayuda Filtrantes

Como su nombre lo indica son sólidos granulados de cierta permeabilidad que permite la filtración de líquidos debido a su estructura interna, obteniendo productos brillantes y limpios. Además, no afectan la calidad del producto ya que no aportan color ni sabor.

Estas ayudas filtrantes pueden ser: tierras diatomeas, perlitas o celulosas.

En general las ayudas filtrantes son preferidas en la filtración de cerveza ya que son compresibles, no sedimentables durante el proceso y cubren bien la superficie del medio filtrante. (Wales, 2014)

Estabilizadores

Son compuestos que evitan la formación de turbidez en el tiempo, es decir, hasta la vida media del producto en el mercado.

Estas sustancias en la producción de cerveza se agregan antes de la filtración, algunas industrias cerveceras lo agregan dosificándola a lo largo de la filtración y otras utilizan filtros.

En el caso de dosificarlo a lo largo de la filtración, el uso inadecuado de ésta puede afectar a la duración de la filtración ya que son sustancias normalmente en forma de polvo. (Balcells, 2010)

Equipos de filtración

Los equipos de filtración son filtros con diferentes medios filtrantes. Unos son de placas verticales u horizontales y otras son de velas, es decir, tubos verticales filtrantes.

Sea el filtro usado, los medios filtrantes deben estar en buenas condiciones, es decir, sin huecos ni dobleces ya que esto puede afectar la formación de la torta filtrante sobre el medio filtrante.

Es importante mantener los medios filtrantes limpios después de cada ciclo de filtración y para ello debemos usar estaciones CIP que permitan tal operación.

Método de filtración

La forma en que se desarrolla la filtración debe ser estándar, es decir, los operarios deben actuar de manera similar durante la filtración.

Los operadores no solo deben conocer la forma de operar el filtro, es decir, conocer el automatismo del equipo, sino, también deben conocer cuáles son los principios de filtración, conocer, cuándo aumentar la dosificación de ayuda filtrante, cuándo recircular, cuándo bajar el flujo de filtración, etc., todo aquello que por falta de conocimiento de la forma correcta de filtrar pueda afectar la eficiencia de filtración.

Procedimiento

Como ya mencionamos debemos estabilizar y reducir el consumo de ayuda filtrante. Para cumplir con el objetivo hemos utilizado una metodología basada en seis sigmas, esta metodología se basa en un procedimiento de cinco etapas, estas son: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.

Cada una de estas etapas nos llevara a la solución del problema planteado.

Definir

En esta etapa tuvimos que explicar cuál era la situación actual del consumo de ayuda filtrante y elaborar el Project charter, un documento oficial donde nos comprometemos a alcanzar el objetivo.

La situación actual la mostramos en la figuras 1 y 2 arriba mostradas, el Project charter la mostramos a continuación.

CARTILLA DEL EQUIPO/PROYECTO (PROJECT CHARTER)

Nombre del Proyecto	Consumo de Ayuda Filtrante			N° Proyecto:	
Fecha (Última Revisión):	24-10-2013				
Preparado Por:	Gabriel Arana C.			Area: Elaboración.	
Aprobado Por:	Alfonso Gordillo			Sección: Filtración.	

Caso de Negocio:				Oportunidad (Problema de Alto Nivel):		
El indicador de consumo de ayuda filtrante en sala de filtración en los dos primeros meses del F14 esta 156.04 gr/Hl total.				Definición del Defecto: Variabilidad en el consumo de ayuda filtrante.		
Objetivo:				Alcance del Proyecto:		
Alcanzar un consumo de ayuda filtrante 130 gr/Hl mensual en la filtración de cerveza.				Punto de Partida del Proceso: Línea de trasiego de cerveza a sala de filtro. Punto de Llegada del Proceso: Salida Filtro.		
Ahorros/Beneficios Esperados: Reducción de los costos de filtración por la reducción de 26.04 gr/Hl en la filtración de cerveza que significa un ahorro de 100,000 US\$ anual.				Dentro del Alcance: Proceso de Filtración en sala de filtro. Fuera del Alcance: Proceso de filtración en de sala cocimiento y de TEX. Cervezas con un recuento mayor a 5 millones. Por establecer el rango de filtrabilidad.		
Plan del Proyecto:				Equipo:		
Tarea/Fase	Fecha de Inicio	Fecha de Término	Término Real	Nombre:	Rol:	Compromiso (%):
Definir	19-Jun	10-Jul	26-Jul	Alfonso Gordillo	Director	10
Medir	19-Jun	10-Jul	26-Jul	Eduardo Aranibar	Dueño del Proceso	10
Analizar	10-Jul	14-Aug	14-Aug	Fernando Villanueva	Lider	10
Mejorar	14-Aug	1-Oct	EN PROCESO	Daniel Cuadros	Lider	10
Controlar	31-Oct	EN ADELANTE	EN ADELANTE	Segundo Delgado	Supervisor	10
				Leoncio Miranda	Supervisor	10
				Jaime Mendoza	Supervisor	10
				Tayrone Ramirez	Filtrador	10
				Gino Vergara	Filtrador	10
				Henry Soles	Filtrador	10
				Jorge Bustamante	Filtrador	10
				Luis Inocente	Filtrador	10
				Sergio Gonzales	Analista	20
				Gabriel Arana	Facilitador	20

Figura 12. La figura muestra el documento llamado Project Charter, sirve de inicio en un proyecto seis sigmas. (Arana, 2013)

Luego de la descripción actual del problema y de la elaboración del Project charter, se elaboran otros documentos tales como: el árbol CTQ (costo, tiempo y calidad), el

mapeo del proceso y el análisis SIPOC (proveedores, entradas, proceso, salida y clientes). Estos documentos lo mostramos en el anexo 22.

Medir

En esta etapa debemos hacer mediciones del indicador a mejorar en este caso el consumo de ayuda filtrante. Las mediciones se hicieron desde abril a junio del 2013. Antes de realizar las mediciones debemos realizar un análisis de medición, es decir, certificar que lo medible sea lo correcto-confiable y no se afecte el desarrollo del proyecto por una mala medición.

El análisis de medición estuvo orientado a asegurar el peso de las bolsas de ayuda filtrante y para ello se tuvo en consideración lo siguiente:

1. El consumo de ayuda filtrante se realiza a través del uso de bolsas selladas y pesadas por el proveedor. El proveedor envía un certificado de análisis granulométrico del contenido de las bolsas así como el peso del lote enviado. El peso de cada lote es inspeccionado y certificado por las aduanas de los países exportadores e importadores.
2. En el proceso de filtración se usan bolsas exactas de ayuda filtrante para la dosificación y cada bolsa contiene 22.68 KG de ayuda filtrante.
3. Se realizó un análisis del peso de cada bolsa. Para ello se separó una muestra de 20 bolsas y se pesaron cada una, el peso promedio de cada bolsa fue de 22.98 KG (bolsa + contenido) y el peso de la bolsa vacía con restos de ayuda fue 0.310 KG y el peso de la bolsa vacía fue de 0.300 KG.

Luego de este análisis se declaró confiable la medición de los kilos en las bolsas de ayuda filtrante usados en el proceso de filtración y se adjunta el certificado de calidad del proveedor en la figura N° 13.

Una vez determinada la certeza de la medición del consumo de ayuda filtrante procedimos a determinar la capacidad y la gráfica de control del proceso.

Para hallar la capacidad del proceso y finalmente la gráfica de control se utilizan herramientas estadísticas de los datos recogidos desde abril a junio, las herramientas usadas fueron:

1. Series de tiempo.
2. Normalidad del proceso
3. Gráficos de control y rango móvil para datos discretos.
4. Capacidad del proceso.

Estos cálculos se realizaron para los procesos de filtración en el filtro Krones y Steinecker.

A continuación en la figura N° 14 solo mostramos el Gráfico de control y la capacidad potencial del proceso para la filtración de cerveza blanca en el filtro Krones.

Como era de esperarse la capacidad del proceso es menor que uno ($C_p > 1$ para declarar el proceso capaz), además, muestra una considerable variabilidad.

Terminado esta parte de la metodología la siguiente etapa es el análisis.



CERTIFICATE OF ANALYSIS

Delivery Address : U.C.P. BACKUS Y JOHNSTON S.A.A. AV. NICOLAS AYLLON 3986, ATE LIMA, PERU	Sold to Address : U.C.P. BACKUS Y JOHNSTON S.A.A. AV. NICOLAS AYLLON 3986, ATE LIMA, PERU	PO Number : 4400023969-3 Order Number : C149026
Equipment No : SUDU 681165-8 Seal No : 3670263		

EPM PERU S.A.
 Dpto. Laboratorio
 Internal email: Direccion@epm.com

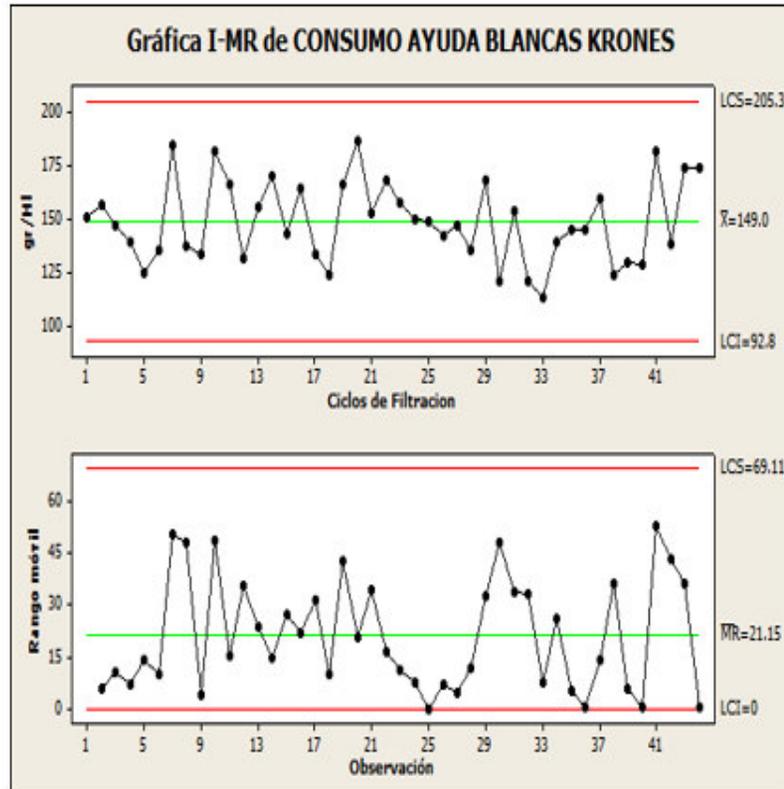
Customer Part No	Description			Shipped Order Qty	UOM	
FP1	BREWERY GRADE D.E.	905		155.00	22.68 KG	
Lot Batch No	Lot Qty	MFG Date	Test Name	Result Units	Spec Min	Spec Max
1F01K13	155	6/2/2013				
			+ 28 PERCENT	Trace percent	0.0	0.5
			+ 150 PERCENT	4.5 percent	0.1	5.0
			ALUMINUM - EBC	74 ppm	0	180
			ARSENIC - EBC	4.2 ppm As	0.0	10.0
			CALCIUM - EBC	235 ppm	0	500
			IRON - EBC	44 ppm	0	80
			LOI - USFCC	0.00 percent	0.00	0.50
			MOISTURE USFCC	0.00 percent	0.00	1.00
			ODOR - IN HCL	Neutral N/A	Neutral	Neutral
			PERMEABILITY	99 ml/dancies	60	110
			PH - EP	7.1 N/A	6.0	8.0
			TASTE - EBC	Neutral N/A	Neutral	Neutral
			WBD	25 lbs/ft ³	0	28
				400 kg/m ³		

800-228-3885 . Fax 1-775-824-7577 . 150 Coal Canyon Road, Lovelock, Nevada 89418, USA . www.epminerals.com
 Please check all quality values on this certificate of analysis carefully and promptly notify EP Minerals of any discrepancies at 800-228-3885. Product has no expiration date.

Figura 13. (Laboratory Minerals, 2013) Figura que muestra el Certificado de Calidad del Proveedor, respecto de la cantidad de ayuda filtrante por bolsa.

Grafica de control y Capacidad del proceso

Grafica de Control



Capacidad del proceso

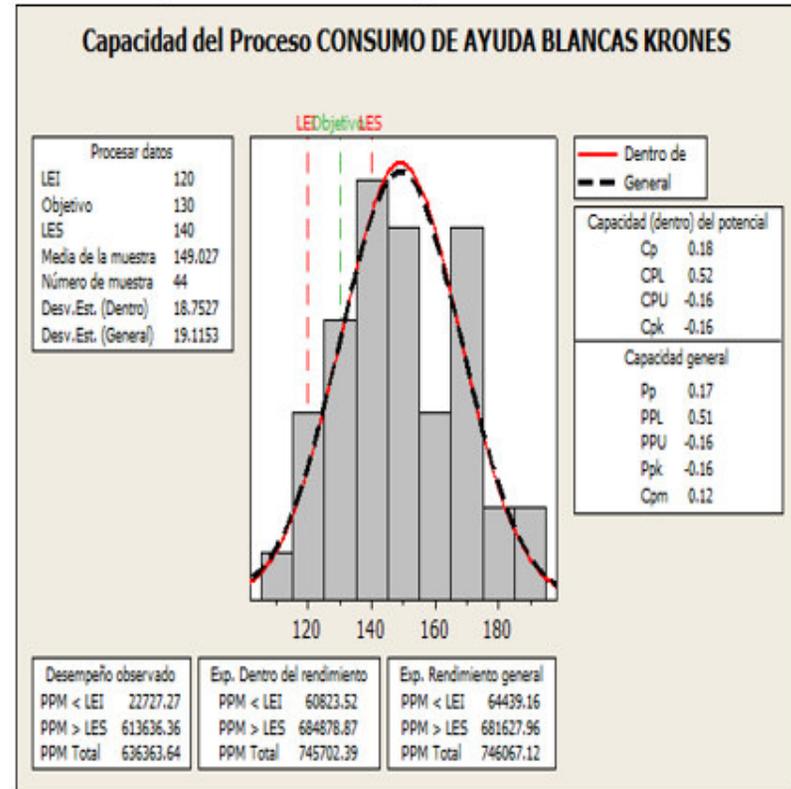


Figura 14. (Arana, 2013) La figura muestra el Gráfico de Control y Capacidad del Proceso para filtración de cervezas blancas para filtro Kronos.

Analizar

En esta etapa de la metodología debemos determinar cuáles son las variables que causan variabilidad al proceso, es decir, no dejan que el proceso sea capaz.

Para determinar estas variables es necesario conocer el proceso, además, de utilizar herramientas estadísticas. Las herramientas son:

- 1.- Diagrama Causa- efecto.
- 2.- Matriz de análisis formal de fallas.
- 3.- Análisis de correlación y regresión.
- 4.- Lean Manufacturing.

Nuevamente el desarrollo de esta parte de la metodología la mostramos en el anexo N° 22. Solo mostraremos algunas figuras para explicar esta etapa.

Empezamos esta etapa con sesiones de tormenta de ideas entre todos los operarios y supervisores del área. De esta lluvia de ideas, desarrollamos el diagrama de causa-efecto o también llamado diagrama de Ishikawa.

A continuación la figura N° 15 muestra el diagrama causa-efecto para la mejora del indicador. Esta etapa es muy importante la participación del personal involucrado en las operaciones, ya que son ellos los que están directamente relacionados con el proceso y los problemas que este tiene.

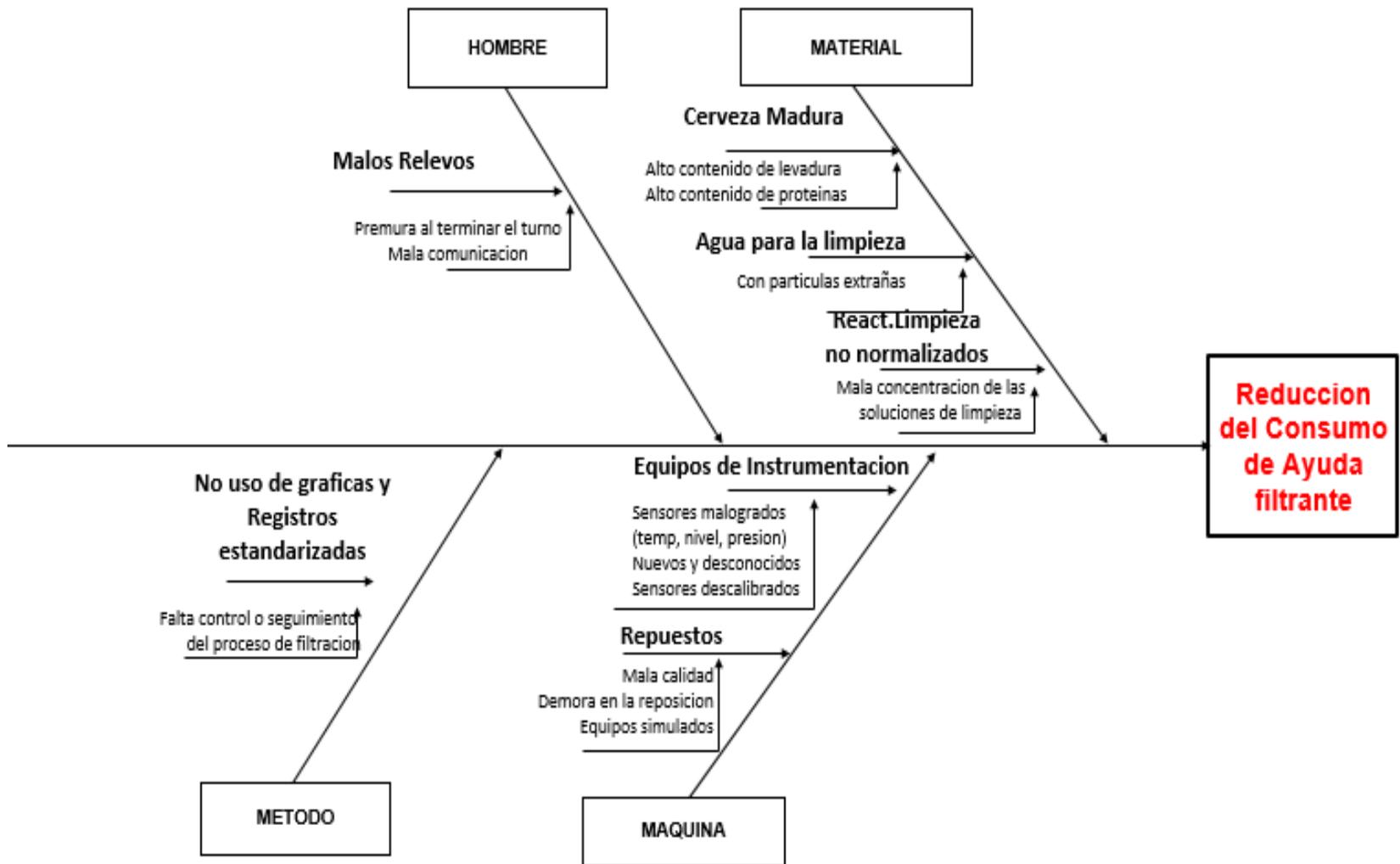


Figura N°15. (Arana, 2013) La figura muestra el Diagrama Causa- efecto para el consumo de ayuda filtrante, primera parte.

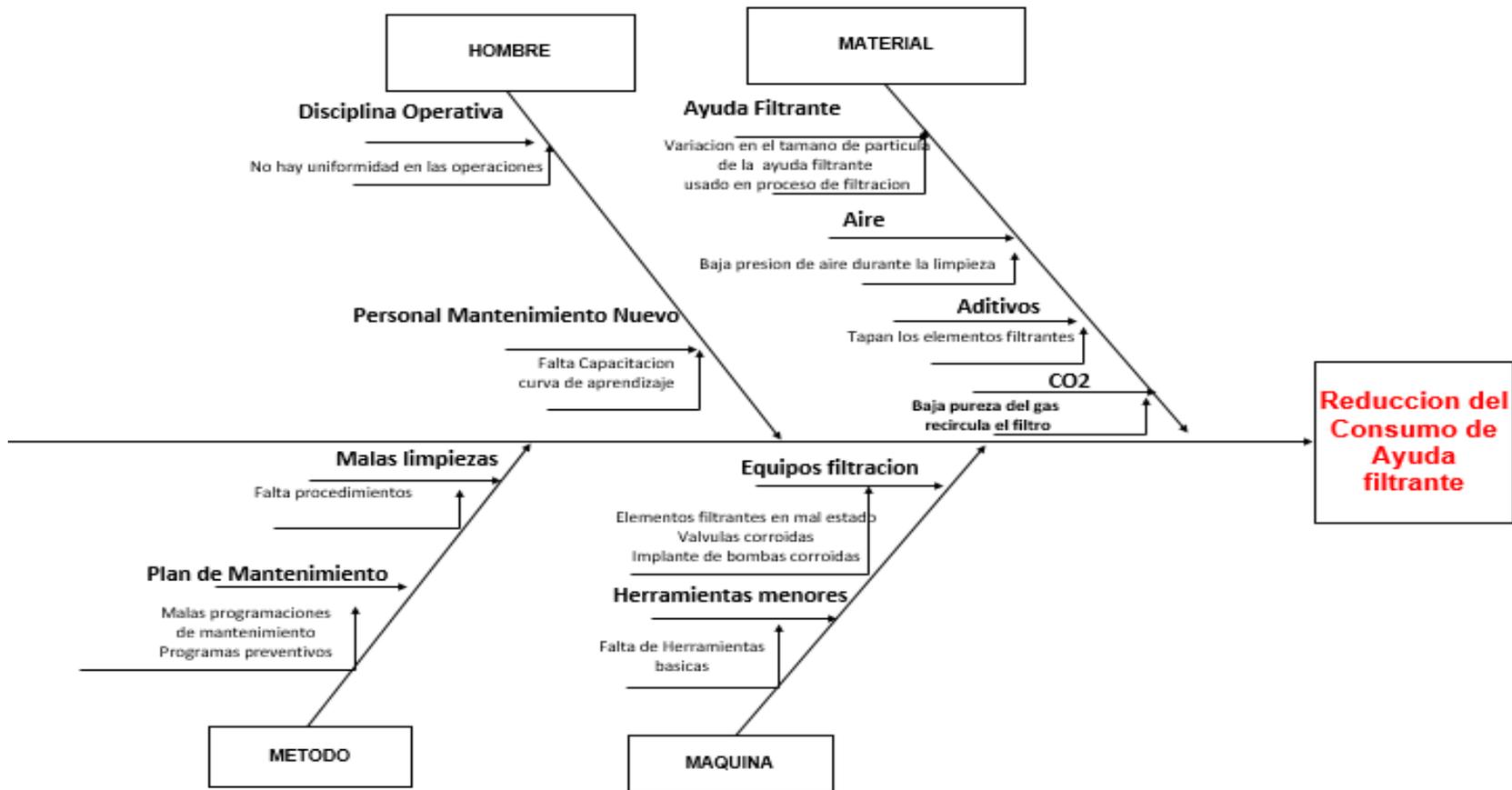


Figura N°15. (Arana, Consumo de Ayuda Filtrante, 2013) La figura muestra el Diagrama Causa- efecto para el consumo de ayuda filtrante, segunda parte.

Luego seguimos con la elaboración de la matriz de análisis de formal de fallas (AMEF por sus siglas en inglés) que nos permitirá de una manera cuantitativa identificar las variables que están afectando el proceso. Para el caso se identificaron dos variables que insidían notablemente en el consumo de ayuda filtrante y son el contenido de células de levadura o recuento de levadura y el contenido de beta glucanos en la cerveza a filtrar.

A continuación en la figura N° 16 mostramos la segunda parte del AMEF.

Siguiendo con la metodología el siguiente paso es aplicar el análisis de correlación y regresión de los datos medidos, es decir, corroborar que el contenido de células y el contenido de beta glucanos afectan el consumo de ayuda filtrante. Esta parte de la metodología como que corrobora lo que se determinó en la matriz de análisis de fallas.

También se analizaron otras variables que se pensaba podían afectar el consumo de ayuda filtrante como son la turbidez y el diferencial de presión.

Solo mostraremos la correlación y la regresión de las variables que confirmaron su incidencia en el consumo de ayuda filtrante, es decir, el contenido de células y beta glucanos de la cerveza a filtrar.

En esta etapa es importante interpretar y analizar el gráfico de residuos que se obtiene del análisis de regresión, además, es importante que estos residuos cumplan con un comportamiento normal. También es necesario analizar la predictividad de la variable,

por ello, del análisis de regresión, debemos obtener un R^2 mayor a 0.7 y realizar una prueba de hipótesis.

Tabla N°6

Matriz de Análisis Formal de Fallas.

Recommended Action	Responsibility and Target Completion Date	Action Taken FECHA DE TÉRMINO	Revised Severity (1-10)	Revised Occurrence (1-10)	Revised Detection (1-10)	Revised Risk Priority Number
Rediseñar protección	A. Carnero / sem 31	sem 31	2	1	1	2
Colocar mando en sala de filtro	A. Carnero / sem 25	sem 26	2	1	1	2
Actualizar/ Repotenciar programa de mantenimiento.	G.Arana / sem 27	sem 28	3	4	4	48
Actualizar/ Repotenciar programa de mantenimiento preventivo	G.Arana / sem 27	sem 28	3	4	4	48
Solicitar los certificados de analisis.	S.Delgado /sem 30	sem 29	3	3	3	27
Seguimiento del recuento de levadura de la cerveza a filtrar.	J.Mendoza /sem 28	sem 28	7	8	8	448
Creación de un metodo gráfico y numérico del control de la filtración (diferencial de presión)	G.Arana / sem 27	sem 28	2	4	4	32
Capacitar al personal.	Supervisores /sem 19-21	sem 21	2	1	1	2
Rediseñar método de limpieza.	G.Arana / sem 20	sem 21	3	3	3	27
Colocar filtros de agua.	L.Miranda /sem 17	sem 18	2	1	1	2
Cambio de los elementos filtrantes e inspección periódica de estos.	A. Carnero / sem 33	sem 33				

Fuente: Tabla°6 Matriz Análisis formal de fallas. (Arana, 2013)

A continuación solo mostramos en las figuras N° 17 y 18 el análisis de correlación y regresión de la variable conteo de células de levadura con respecto al consumo de ayuda filtrante. En el anexo 25 se muestra el análisis total de las variables.

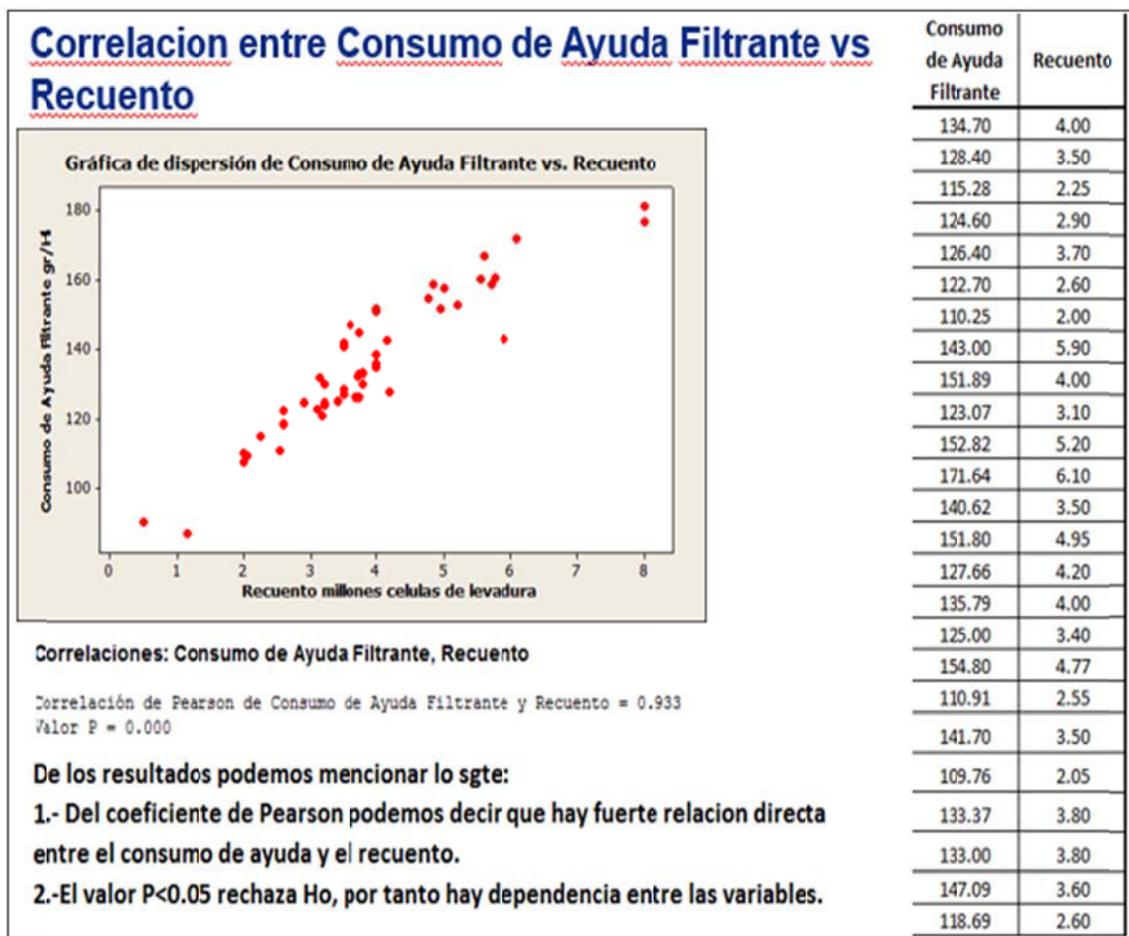


Figura N° 17. La figura muestra la Correlación entre el conteo de células y el consumo de ayuda filtrante, es el grado de dependencia. (Arana, 2013).

Análisis de regresión: Consumo de Ayuda Filtrante vs. Recuento

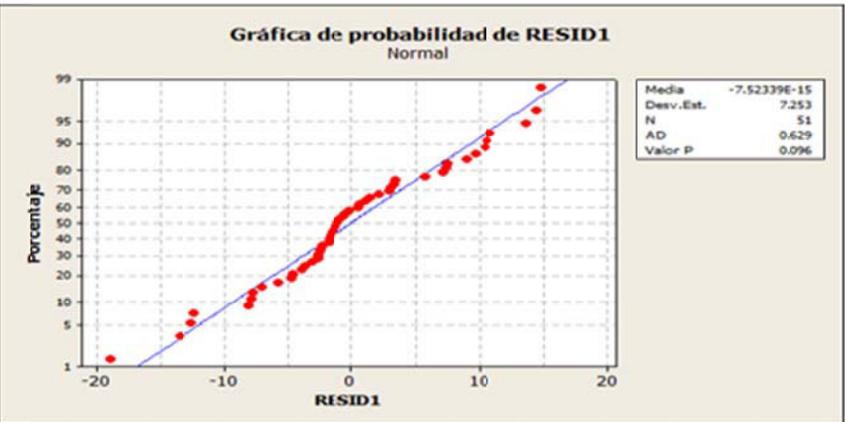
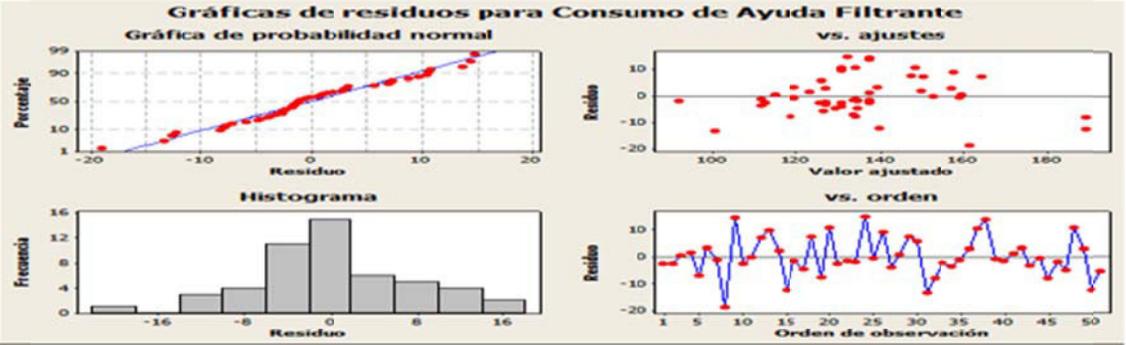
La ecuación de regresión es
 Consumo de Ayuda Filtrante = 85.7 + 12.9 Recuento

Predicador	Coef	SE Coef	T	P
Constante	85.661	2.943	29.11	0.000
Recuento	12.9338	0.7140	18.12	0.000

S = 7.32687 R-cuad. = 87.0% R-cuad. (ajustado) = 86.7%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Regresión	1	17618	17618	328.18	0.000
Error residual	49	2630	54		
Total	50	20248			



Consumo de Ayuda Filtrante	Recuento
134.70	4.00
128.40	3.50
115.28	2.25
124.60	2.90
126.40	3.70
122.70	2.60
110.25	2.00
143.00	5.90
151.89	4.00
123.07	3.10
152.82	5.20
171.64	6.10
140.62	3.50
151.80	4.95
127.66	4.20
135.79	4.00
125.00	3.40
154.80	4.77
110.91	2.55
141.70	3.50
109.76	2.05
133.37	3.80
133.00	3.80
147.09	3.60
118.69	2.60

- De los datos del analisis de regresion podemos concluir lo sgte:
1. Que la variable recuento tiene una capacidad predictiva para la variable consumo de ayuda filtrante ya que R2 es mayor a 70%. (87%)
 2. Que la regresion esta bien hecha ya que los residuos o residuales tiene un comportamiento normal.
 3. La prueba de hipotesis para la causa raiz recuento se planteo de la siguiente forma:
 Hipotesis:
 Ho: no hay relacion entre la ayuda filtrante y el reuento.
 Ha: si hay relacion entre la ayuda filtrante y el recuento.
 4. Al ser P<0.05 entonces se rechaza Ho o lo que es lo mismo aceptamos Ha, es decir la variable recuento es significativa.

Figura N°18. (Arana, 2013) La figura muestra el Análisis de regresión y normalidad de los residuos para el conteo de células.

Para complementar esta parte realizamos un análisis de los procesos que no aportan valor o que tenemos que mejorar. Este análisis se realiza en el marco del Lean Manufacturing, es decir, que procesos generan desperdicios o ineficiencias.

Mejorar

Ahora vamos a pasar a la siguiente etapa de esta metodología y es la etapa de mejorar.

En esta etapa debemos encontrar la mejor combinación de las variables que minimicen el consumo de ayuda filtrante, es decir, cuál será la mejor combinación de la variable recuento y contenido de beta glucanos como para hallar el valor más óptimo del consumo de ayuda filtrante.

Para ello debemos realizar pruebas experimentales que involucren las variables que afectan el indicador y aplicar una herramienta estadística llamada DOE (The design of experiments).

Para mejorar la variable del contenido de levadura en la cerveza a filtrar se realizaron las siguientes acciones:

1. Implementación de las purgas de trub durante el llenado de los fermentadores, es decir, cada cocimiento se purga el trub.
2. Variación del flujo de la cosecha antes 35 HL/H actualmente 15HL/H

3. Optimización de las purgas de levadura aumentando la frecuencia de extracción y controlando el porcentaje de sólidos a 10%.

4. Disciplina operativa.

Igual forma para mejorar el contenido de beta glucanos se realizaron las siguientes acciones:

1.- Se realizaron pruebas de descanso de la malta en 45 C por 10 minutos en paila

Mezcladora. En la línea 1 de cocimiento (lauter) se realizaron cocimientos con descanso en 45 C.

2.- Se evalúa el comportamiento de distintas clase de maltas en la paila mezcladora a 45°C de descanso.

3.- Las pruebas continuaron con la finalidad de encontrar un equilibrio entre la filtrabilidad y la espuma en cerveza final.

Una vez realizadas estas mejoras en las variables recuento y beta glucanos en la cerveza a filtrar, se aplica la herramienta estadística DOE sobre los nuevos valores de recuento y contenido de beta glucanos, la finalidad es averiguar la significancia estadística de estas variables sobre la variable de salida, es decir, el consumo de ayuda filtrante.

En la figura N°19 mostramos el resultado del DOE experimental.

Para verificar que el DOE está bien hecho debemos averiguar el comportamiento normal de los residuos, para nuestro caso el DOE estuvo bien hecho debido a que los valores tienen un comportamiento normal.

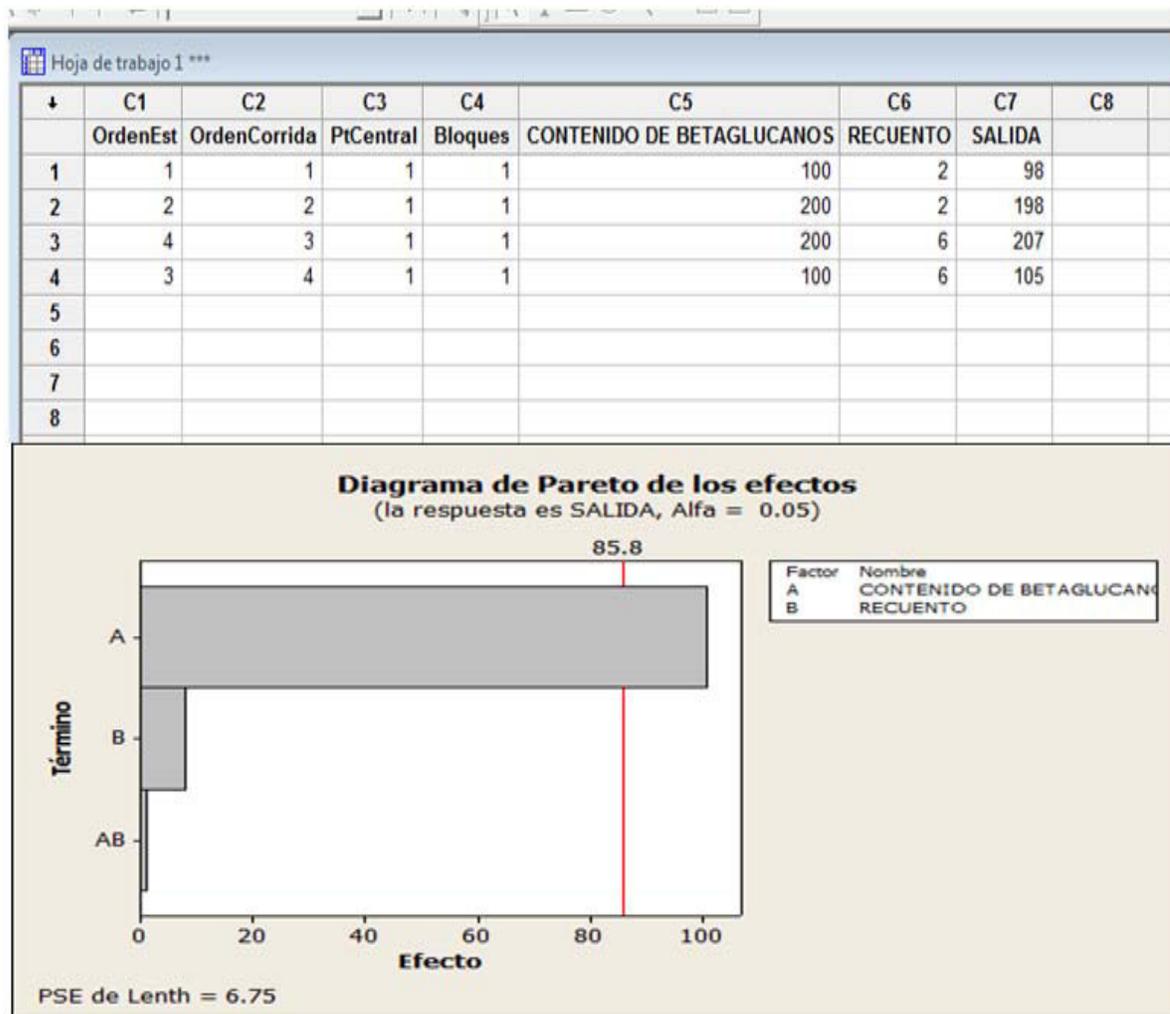


Figura N°19. La figura muestra el Diseño experimental para las variables recuento y contenido de betaglucanos (Arana, 2013)

Para graficar la mejor combinación de las variables recuento y contenido de beta glucanos para optimizar el consumo de ayuda filtrante, hemos usado la gráfica del cubo

(existe dos graficas más son tipo área y tipo volumen) ya que nos muestra la mejor dirección de la mejora.

En la figura N°20 mostramos la gráfica del cubo.

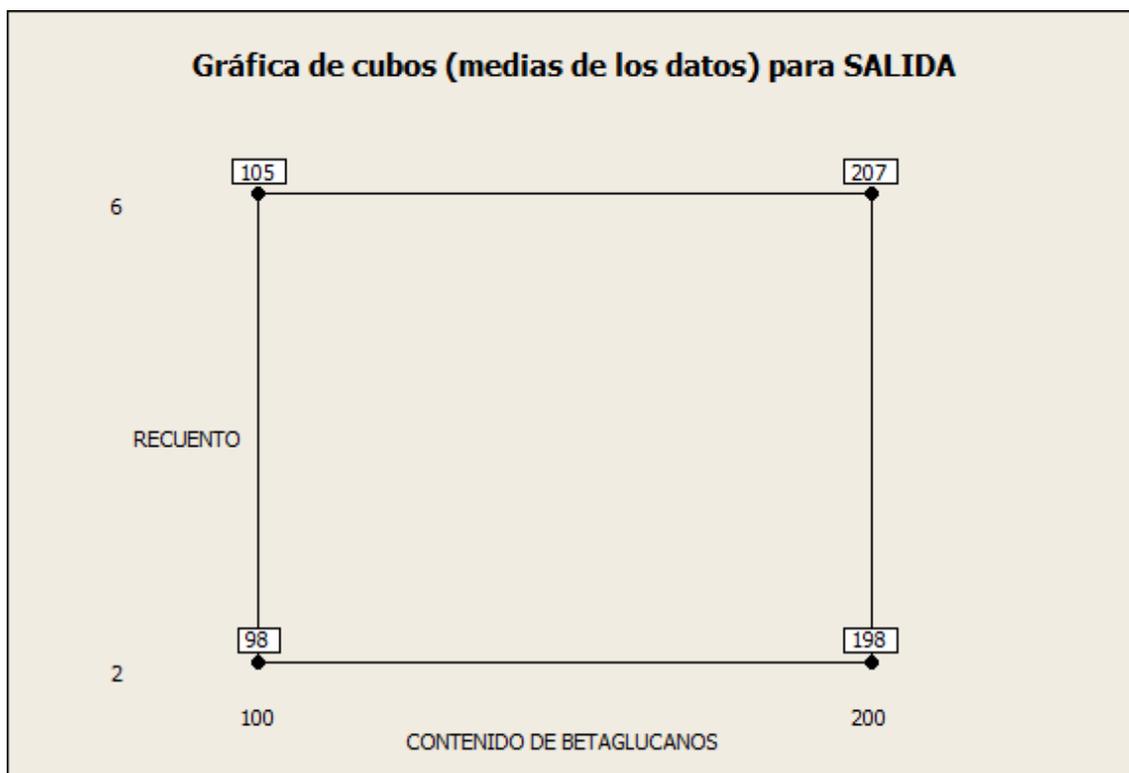


Figura N°20. La figura muestra la Grafica del cubo para el consumo de ayuda filtrante. (Arana, 2013)

Esta grafica nos muestra que cuando el contenido de células y de beta glucanos es de 2 y 100 respectivamente en la cerveza filtrar, el consumo de ayuda filtrante debe estar en 98gr/Hl.

Controlar

Para terminar la última etapa de la metodología debemos nuevamente realizar una gráfica de control y determinar nuevamente la capacidad del proceso con los nuevos valores del consumo de ayuda filtrante luego de las mejoras. La finalidad es visualizar y cuantificar la mejora del proyecto.

Es importante en esta última etapa establecer un control periódico del indicador, es decir, un período de tiempo razonable donde podamos reaccionar ante un desbalance del indicador, ello permitirá tomar acciones inmediatas para el mejor control del indicador.

En las siguientes figuras N°21 y 22 mostramos la gráfica de control y la capacidad del proceso.

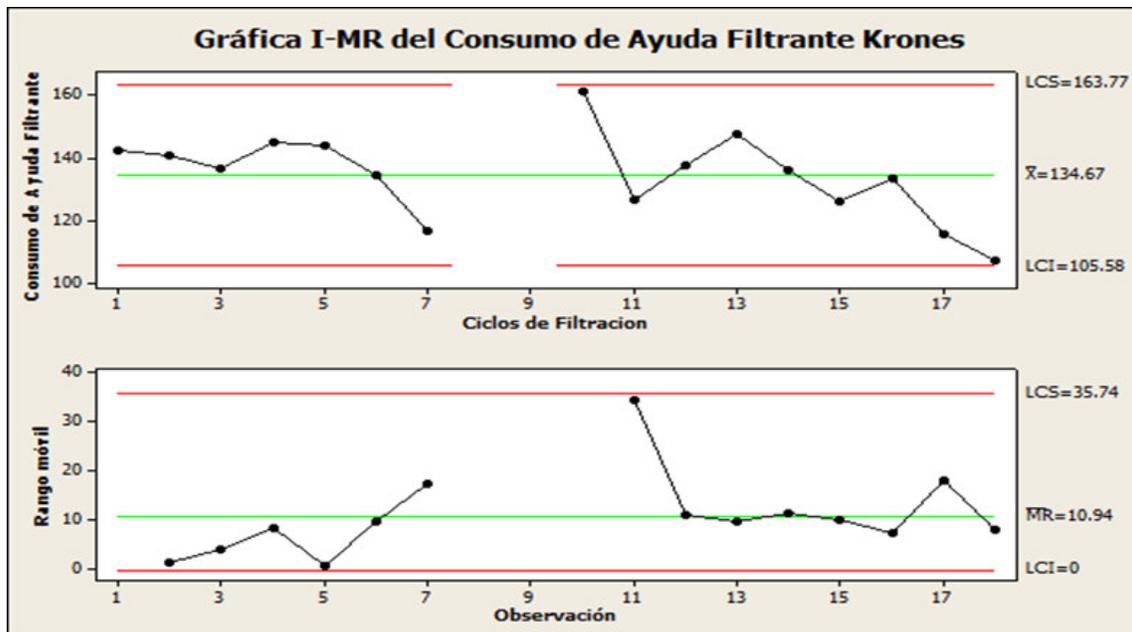


Figura N° 21. (Arana, 2013) Figura que muestra la Gráfica de control del proceso luego de las mejoras.

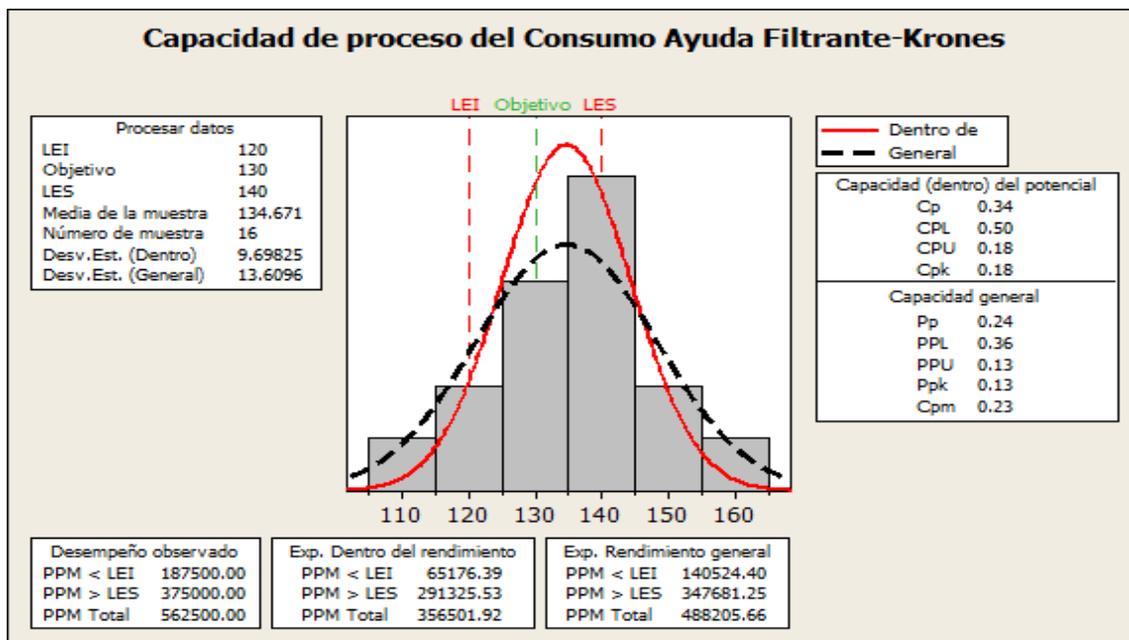


Figura N° 22. Capacidad del proceso luego de las mejoras. La capacidad aumenta en 47% de la capacidad inicial. (Arana, 2013)

Resultados

El proyecto ha tenido los siguientes resultados en el filtro krones:

- 1.- El contenido de células de la cerveza a filtrar bajó de 6.0 millones a 2.5 millones.
- 2.- El contenido de beta glucanos bajó de 154 ppm promedio a 102 ppm.
- 3.- El consumo de ayuda filtrante bajó en promedio de 149 gr/HL a 134 gr/HL

Las figuras N°23, 24 y 25 muestran las mejoras mencionadas.

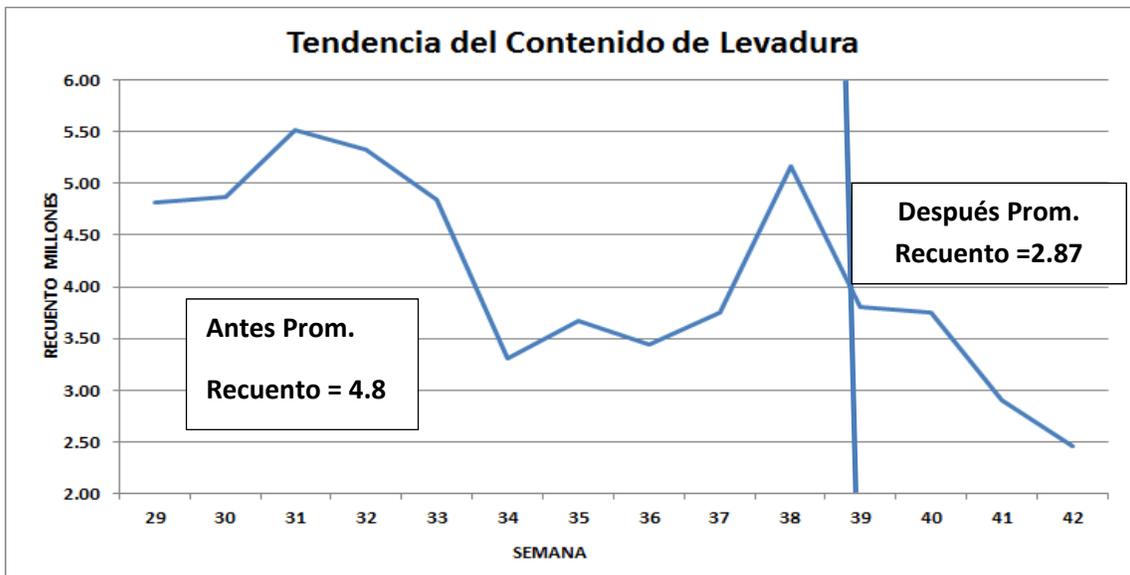


Figura N° 23. (Arana, 2013) Figura que muestra el Contenido de células antes y después de la mejora

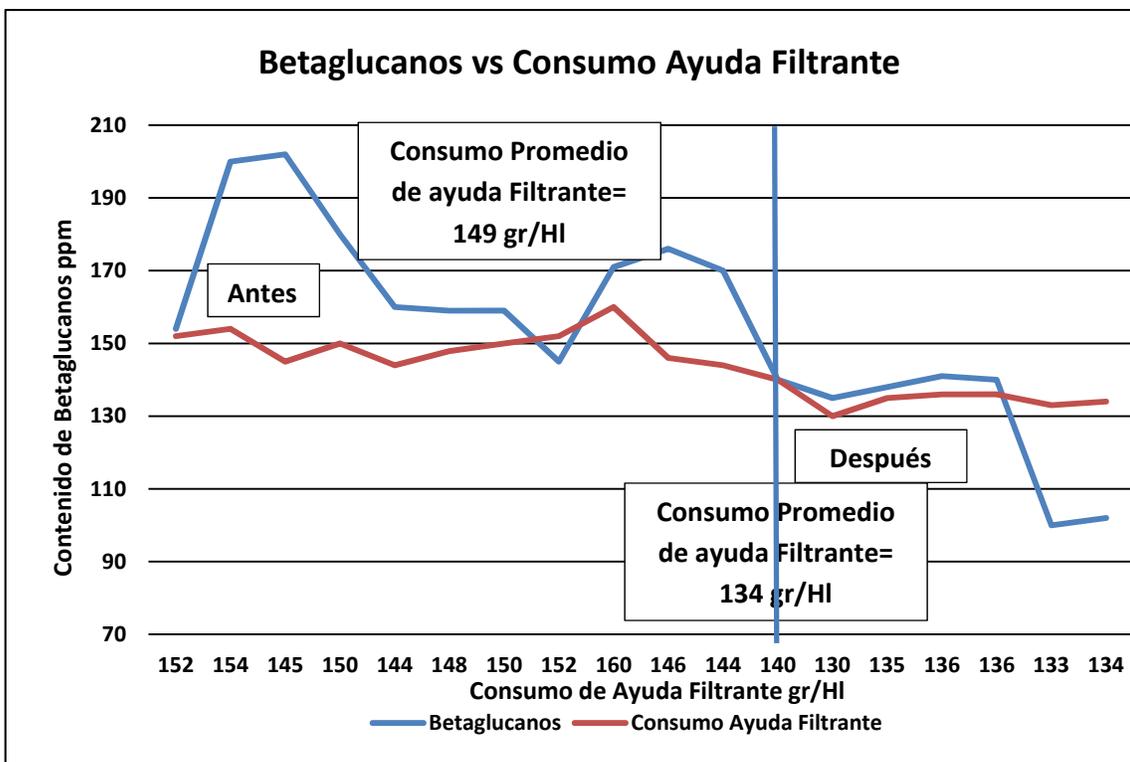


Figura N°24. (Arana, 2013) Figura que muestra el Contenido de beta glucanos antes y después de la mejora.

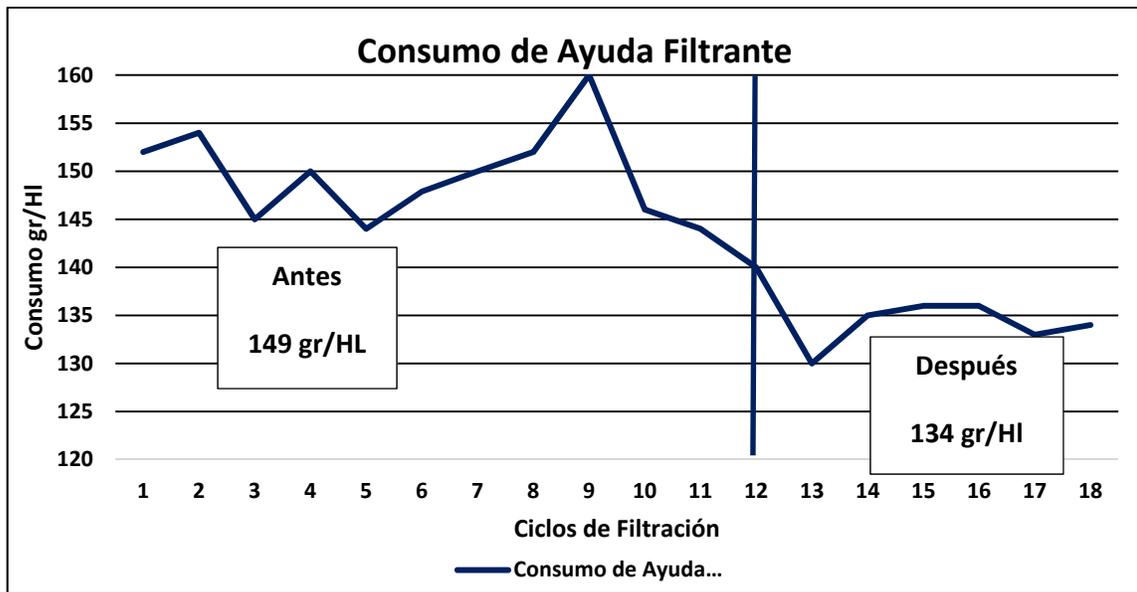


Figura N°25. (Arana, 2013) La figura muestra la tendencia del consumo de ayuda filtrante.

Conclusiones

El presente trabajo tuvo las siguientes conclusiones:

- 1.- Todo el proyecto fue realizado bajo la metodología DMAIC es una metodología donde se combinan dos métodos, el Lean Manufacturing y el seis sigma.
- 2.- Las mejoras realizadas en recuento y beta glucanos bajaron 60% y 30% respectivamente.
- 3.- El consumo de ayuda filtrante bajó de 149 gr/HL a 134 gr/HL.
- 4.- Creación de procedimientos por parte de los operarios, para mejorar y optimizar las operaciones, empezaron a desarrollarse las POES (procedimiento de operaciones y estandarización).

Recomendaciones

- 1.- Instalación del software estadístico que nos ayude a la interpretación de los datos obtenidos.
- 2.- Capacitaciones del personal operario en Lean Manufacturing, análisis de desperdicios.
- 3.- Capacitación del personal supervisor en Yellow Belt, grado en la que le permite al asistente usar las herramientas básicas de estadística.

CAPITULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La presente monografía representa el trabajo de muchos años de practicar la ingeniería química, hemos querido plasmar en cada uno de sus capítulos, lo aprendido en la formación académica que nos proporciona la universidad a lo largo de la carrera, asimismo, mostrar cómo estas herramientas aprendidas nos servirán para detectar y solucionar problemas en la industria.

Dicho esto mencionaremos las conclusiones que nos ha llevado el presente trabajo:

1. En el primer caso se logró reducir la variabilidad el pH y el consumo de ácido fosfórico en la paila mezcladora. El pH se estabilizó en entre 5.5 y 5.6 y el consumo bajo de 2 o 3 litros a 1.5 litros de ácido fosfórico.
2. Se pudo aumentar el rendimiento de la materia prima de 94% a 97%, es decir, se obtuvo más hectolitros de mosto (producto) por kilogramo de materia prima.
3. En el segundo caso se redujo el contenido de células en la cerveza a filtrar, de 6.0 millones a 2.5 millones.
4. También, se redujo el contenido de beta glucanos bajó de 154 ppm promedio a 102 ppm.
5. Finalmente, el consumo de ayuda filtrante bajó en promedio de 149 gr/HL a 134 gr/HL.

6. Independientemente de la teoría vertida en este trabajo que definitivamente es conocida en la industria cervecera, esta conclusión tiene por objetivo mostrar al lector el modo y las técnicas para solucionar problemas que afectan a los procesos. Una de estas técnicas se muestra en el segundo caso, es una herramienta poderosa que le permitirá hallar soluciones metodológicamente.
7. También hacemos énfasis en mencionar como estas técnicas unidas a la formación académica dan como resultado mejoras en los procesos, así lo hacemos saber en cada caso presentado.
8. Una cultura de calidad es necesario en las empresas competitivas, estas deben desarrollarse en todos los niveles, desde los operativos hasta los ejecutivos. Por ello estamos convencidos que dar a conocer los programas de calidad y las herramientas usadas en la solución de problemas de la industria cervecera ayudará a nuestros egresados a tener una visión más integral de la administración de negocios.

Recomendaciones

El desarrollo de la monografía nos ha permitido encontrar una serie oportunidades de mejora, algunas de fondo pero muchas de forma. Por ello deseamos mencionar las siguientes recomendaciones:

1. Usar para la solución de problemas alguna metodología que permita en forma ordenada llegar a los objetivos deseados.

2. Contar con personal capacitado en estas metodologías que ayudarán a resolver los problemas más rápido.
3. No presentar información que comprometa el “know how” de la empresa ya que puede divulgar información confidencial.
4. El uso de paquetes estadísticos es necesario para poder aplicar la metodología aquí presentada.
5. Profundizar sobre el uso de herramientas de calidad que ayuden a complementar la formación académica, ello servirá, ver en forma integral los problemas a resolver y la administración del negocio.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alarcon, E. H. (2012). Molienda Húmeda. *Programa de Tecnologia de Cereales, Volumen 1*. Lima, Peru. Obtenido de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/232016/contLinea/leccin_32_molienda_hmeda.html
- Arana, G. (1994). Bombeo de ácido fosforico. (*Informe de Trabajo Elaboracion Pilsen Callao*). Lima, Peru: Publicacion Pilsen.
- Arana, G. (1994). Eficiencia de la Materia Prima. (*Informe de Trabajo Elaboracion Pilsen Callao*). Lima, Peru: Publicacion Pilsen.
- Arana, G. (1994). Espina de Pescado Homogenizacion del pH. (*Informe de Trabajo Elaboracion Pilsen Callao*). Lima, Peru: Publicacion Pilsen.
- Arana, G. (2013). Analisis de las 6 M. (*Informe Proyecto de Mejora DMAIC Backus & Johnston*). Lima, Peru: Portal de Ideas Backus & Johnston.
- Arana, G. (2013). Analisis de Modo y Efecto de la falla. (*Informe Proyecto de Mejora DMAIC Backus & Johnston*). Lima, Peru: Portal de Ideas Backus & Johnston.
- Arana, G. (2013). Capacidad del Proceso. (*Informe Proyecto de Mejora DMAIC Backus & Johnston*). Lima, Peru: Portal de Ideas Backus & Johnston.
- Arana, G. (2013). Capacidad del Proceso de Elaboración. (*Informe Proyecto de Mejora DMAIC Backus & Johnston*). Lima, Peru: Portal de Ideas Backus & Johnston.
- Arana, G. (2013). Consumo de Ayuda Filtrante. (*Informe Proyecto de Mejora DMAIC Backus & Johnston*). Lima, Peru: Portal de Ideas Backus & Johnston.
- Arana, G. (2013). Contenido de Betaglucanos. (*Informe Proyecto de Mejora DMAIC Backus & Johnston*). Lima, Peru: Portal de Ideas Backus & Johnston.
- Arana, G. (2013). Contenido de Celulas. (*Informe Proyecto de Mejora DMAIC Backus & Johnston*). Lima, Peru: Portal de Ideas Backus y Johnston.
- Arana, G. (2013). Correlacion de Datos. (*Informe Proyecto de Mejora DMAIC Backus & Johnston*). Lima, Peru: Portal de Ideas Backus & Johnston.
- Arana, G. (2013). Diseño experimental. (*Informe Proyecto de Mejora DMAIC Backus & Johnston*). Lima, Peru: Portal de Ideas Backus & Johnston.

- Arana, G. (2013). Espina de Pescado para la Reduccion de ayuda filtrante. (*Informe Proyecto de Mejora DMAIC Backus & Johnston*). Lima, Peru: Portal de Ideas Backus & Johnston.
- Arana, G. (2013). Grafica de Control. (*Informe Proyecto de Mejora DMAIC Backus & Johnston*). Lima, Peru: Portal de Ideas Backus y Johnston.
- Arana, G. (2013). Grafica del Cubo. (*Informe Proyecto de Mejora DMAIC Backus & Johnston*). Lima, Peru: Portal de Ideas Backus & Johnston.
- Arana, G. (2013). Normalidad de los datos. (*Informe Proyecto de Mejora DMAIC Backus & Johnston*). Lima, Peru: Portal de Ideas Backus & Johnston.
- Arana, G. (2013). Project Charter. (*Informe Proyecto de Mejora DMAIC Backus & Johnston*). Lima, Peru: Portal de Ideas Backus & Johnston.
- Balcells, L. (2010). Seminario para Micro Cervecerias. *Gastronomia con Mucha Gula, Seminario V*. Obtenido de www.conmuchsgula.com/2013/05/10
- Balcells, L. (2013). Clarificación y estabilidad por Ashland. *Gastronomia con Mucha Gula, Volumen 44*. Obtenido de <http://www.conmuchagula.com/2013/05/10/seminario-para-micro-cerveceras-v-clarificacion-y-estabilizacion-por-ashland/>
- Calderoni, J. L. (2014). Proceso de Molienda de la Malta para cerveza. *El Blog Cerveceros, Volumen 2*. Obtenido de <http://www.verema.com/blog/el-blog-del-cerveceros/1000485-proceso-molienda-malta-para-cerveza>.
- Castro, C. (2014). El agua Características y uso en la elaboracion de cerveza. *Fabricar Cerveza Volumen 11*. Obtenido de www.fabricarcerveza.es/blog/item/133-el-agua
- Cornejo, J. P. (2011). Desaireacion Termica. *Thermal Engineering, Volumen 355*. Obtenido de www.thermal.cl
- Cornejo, J. P. (2011). Desaireacion Térmica v/s Quimica. *Engineering, Thermal, Volumen 1*. Obtenido de http://www.thermal.cl/prontus_thermal/site/artic/20110602/asocfile/20110602102250/articulo__desaireacio__n_te__rmica_vs_qui__mica_modif.pdf.
- Cragolini, L. A. (2001). Protocolo de Calidad. *Revista CIBART, Volumen 4*. Obtenido de Malteurop: <http://www.todocerveza.com.ar/cibart>
- Delgado, F. S. (2014). Elaboración de la cerveza. *Instituto Nacional de Tecnologías Educativas, Volumen 8*. Obtenido de aliso.pntic.mec.es/~vferna8/recursos/elaboracion%20de%20cerveza.pdf

- Faula, D. (2010). Turbiedad y Claridad en la Cerveza. *Haz Tu Cheve, Volumen 6*. Obtenido de <http://haztucheve.com/biblioteca/17-elaboracion-de-cerveza/9-turbiedad-y-claridad-en-la-cerveza>.
- Floch, A. L. (2008). El control de la Materia Prima. *Malteurop Volumen 1*. Obtenido de <https://es.malteurop.com/nuestro-grupo>
- Floch, A. L. (2014). De la malta a la cerveza. *Malteurop, Volumen 5*. Obtenido de www.es.malteurop.com
- Gigliarelli, P. (2004). Molienda. *Mash, Volumen 347*. Obtenido de <http://www.revistamash.com/detalle.php?id=347>.
- Gigliarelli, P. (2009). El Hervor. *Mash Volumen 364*. Obtenido de Revista Mash: <http://www.revistamash.com/detalle.php?id=364>.
- Gigliarelli, P. (2011). Teoría de la Meceración. *Mash, Volumen 376*. Obtenido de Revista: Mash: <http://www.revistamash.com/detalle.php?id=376>
- Gigliarelli, P. (2013). Fermentación. *Mash, Volumen 379*. Obtenido de <http://www.revistamash.com/detalle.php?id=379>.
- Hidalgo, M. (2014). Filtración. *Monografías*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos61/filtracion/filtracion2.shtml>.
- Janson, L. W. (2014). Brew Chem 101 the basics homebrewing chemistry. *Version de Lybrary of Congress*. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=vP-R3va7t0sC&printsec=frontcover&dq=Brew+Chem+101+the+basics+homebrewing+chemistry&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Brew%20Chem%20101%20the%20basics%20homebrewing%20chemistry&f=false
- Johnston, L. B. (2015). *Analisis de los minerales del agua de proceso*. Lima Peru.
- Johnston, L. B. (2015). *Dureza del agua*. Lima Peru.
- Koroluk, C. A. (2014). Clarificantes. *Cerveza Argentina, Volumen 33*. Obtenido de www.cervezadeargentina.com.ar/articulos/clarificantes.html
- Kunze, W. (1996). *Technology Brewing and malting*. Berlin: VLB Berlin.
- Kunze, W. (1996). *Technology Brewing and Malting*. Alemania: Westkreuz-Druckerei Ahrens KG Berlin.
- Kunze, W. (1996). *Technology Brewingand Malting*. Berlin: VLB Berlin.

- Laboratory Minerals, E. (2013). *Certificado de Calidad de la Ayuda Filtrante*. Nevada USA: Minerals, EP.
- Mazariegos, A. (2011). Elaboracion de Cerveza. *Universidad de San Carlos de Guatemala Volumen 1*. Obtenido de <http://documents.mx/documents/cerveza-559546f8124e3.html>
- Muller, P. (2014). Sistema de Carbonatacion. *Gea Process, Volumen 1*. Obtenido de <http://www.geape.es/gpees/cmsdoc.nsf/WebDoc/webb7rrn5g>.
- Pagnacco, S. (2010). Molienda de Maiz. *Peridico Los Molinos, Volumen 32*. Lima, Peru. Obtenido de http://losmolinos.beltres.com.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=470:moliendasecademaiz&catid=54:interesgral&Itemid=944
- Ragoni, M. (2014). Formacion del diacetilo. *Cerevis, Volumen 29*. Obtenido de <http://www.ceresvis.com/index.php/notas-cerveceras/apreciacion/item/29-probando-cervezas-diacetilo>
- Ragoni, M. (2014). Probando cervezas. *Cerevis, Volumen 29*. Obtenido de <http://ceresvis.com/index.php/notas-cerveceras/apreciacion/item/29-probando-cervezas-diacetilo>.
- Riquelme, K. (2013). Qué es el lúpulo. *Sabrosia Volumen 602*. Obtenido de <http://www.sabrosia.com/2013/01/que-es-el-lupulo/>
- Ro, A. (2014). Mejorando la claridad de la cerveza: el uso de clarificantes. *Cerveza Artesana, Volumen 10*. Obtenido de <http://cervezartesana.es/tienda/blog/mejorando-la-claridad-de-la-cerveza-el-uso-de-clarificantes.html>.
- Rocker, T. (2010). Que es la Cerveza. *Cerveza Fabricación Volumen 1*. Obtenido de <http://cervezafabricacion.blogspot.pe/>
- Rocker, T. (2012). Que es la cerveza. *Fabricar Cerveza, Volumen 5*. Obtenido de www.cervezafabricacion.com
- Tertre, C. (oviembre de 2014). Optimización del sisitema de filtración y estabilidad coloidal para una cerveza multiproducto de tamaño medio. *Volumen 1*. Obtenido de <http://zagan.unizar.es/TAZ/CPS/2011/6459/TAZ-PFC-2011-605.pdf>.
- Vogrig, W. (2004). Calculo de IBU's. *Mash, Volumen 71*. Obtenido de Disponible: <http://www.revistamash.com/detalle.php?id=71>

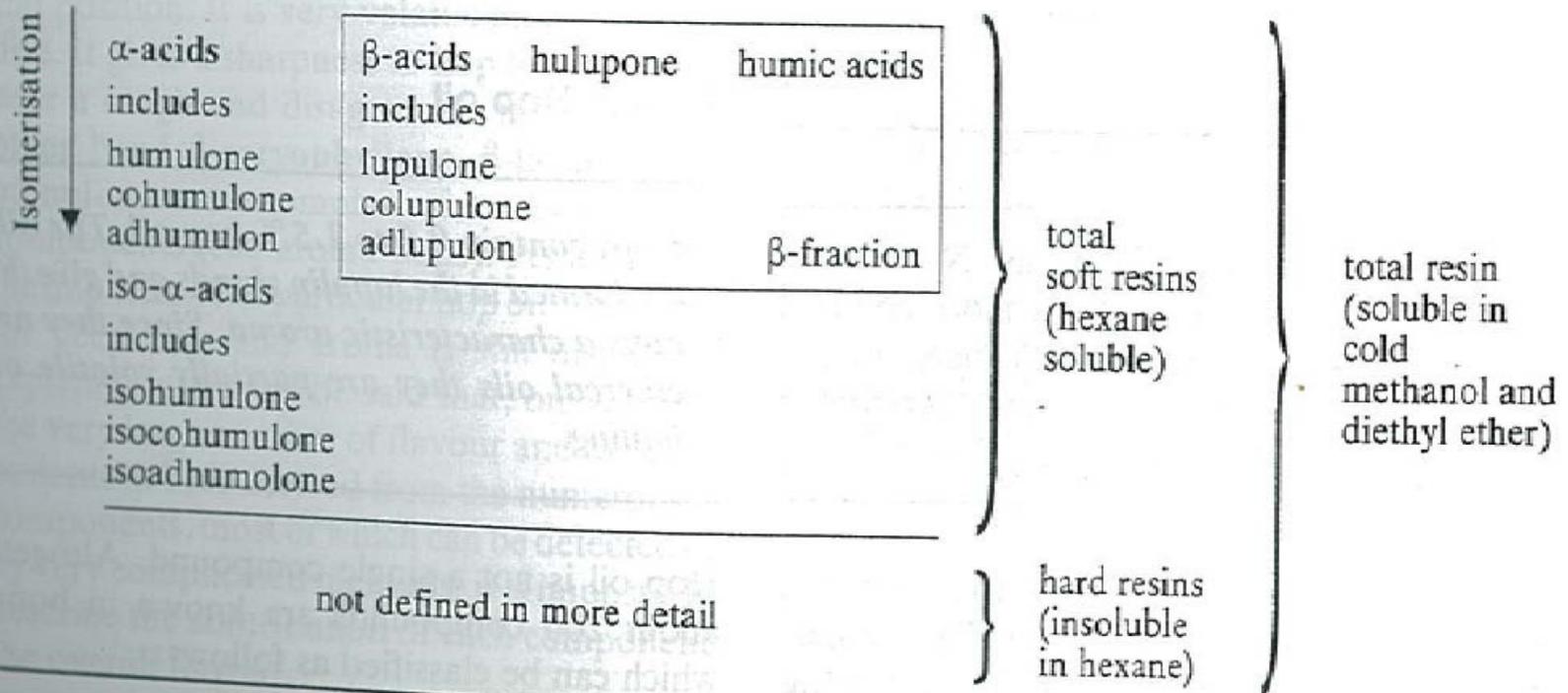
- Wales, J. (2001). Filtración. *Wikipedia, Volumen 4*. Obtenido de <http://es.wikipedia.org/wiki/Filtraci%C3%B3n>.
- Wales, J. (2014). Filtración. *Wikipedia, Volumen 11*. Obtenido de www.es.wikipedia.org
- Wales, J. (2015). Lactato de Calcio. *Wikipedia, Volumen 11*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Lactato_de_calcio
- Wulfsohn, B. (2014). Polyclar 10 Estabilizador de Cerveza. *Ashland(PC_11449)*. Obtenido de http://www.ashland.com/Ashland/Static/Documents/ASI/PC_11449-SP_Polyclar_10.pdf.
- Yepes Garcia, D. (2007). Enfriamiento de Mosto. Elaboración y producción de cerveza. *MailxMail, Capítulo 5*. Obtenido de <http://www.mailxmail.com/curso-elaboracion-produccion-cerveza/enfriamiento-mosto>.
- Yepes Garcia, D. (2007). Filtración de la cerveza. Elaboración y producción. *MailxMail, Capítulo 9*. Obtenido de <http://www.mailxmail.com/curso-elaboracion-produccion-cerveza/enfriamiento-mosto>.
- Yepes Garcia, D. (2007). Maduración de la cerveza. Elaboración y producción. *MailxMail, Capítulo 7*. Obtenido de <http://www.mailxmail.com/curso-elaboracion-produccion-cerveza/maduracion-cerveza>.

NOMENCALTURA PARA RESINAS DE LUPULO

Hops contain 14 to 21 % hop resin.

The hop resins are the most valuable and most characteristic components of hops. They give beer its bitter taste, improve foam stability and act as antiseptics towards microorganisms.

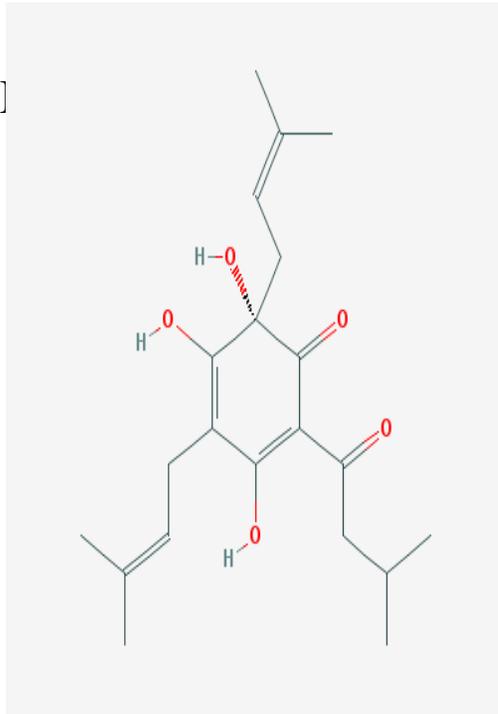
Internationally [3] the following nomenclature has been established for hop resins



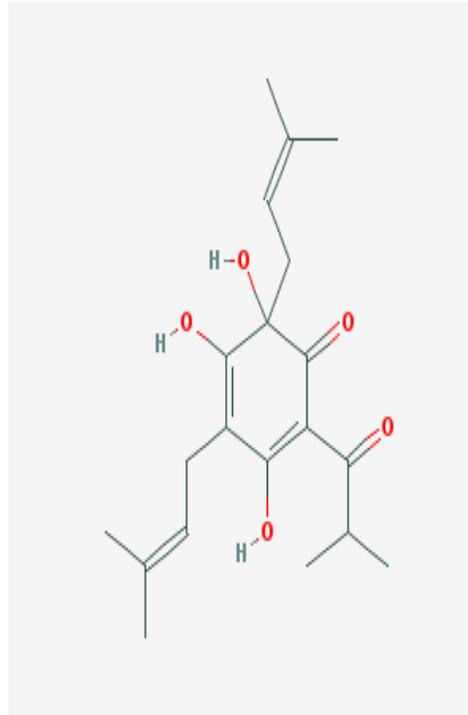
Fuente: Fuente: Wolfgang Kunze , 7 edición 1996, p 45

FORMULA DE LOS ALFA ACIDOS DE RESINA DE LUPULO

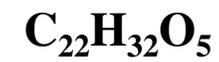
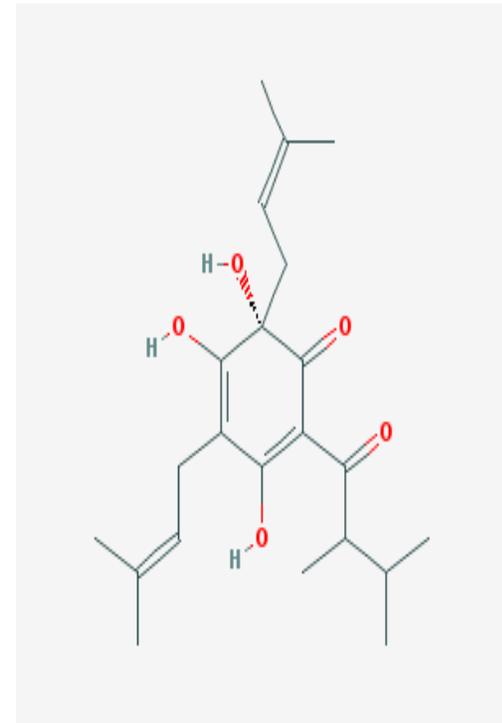
HUMULONA



COHUMULONA



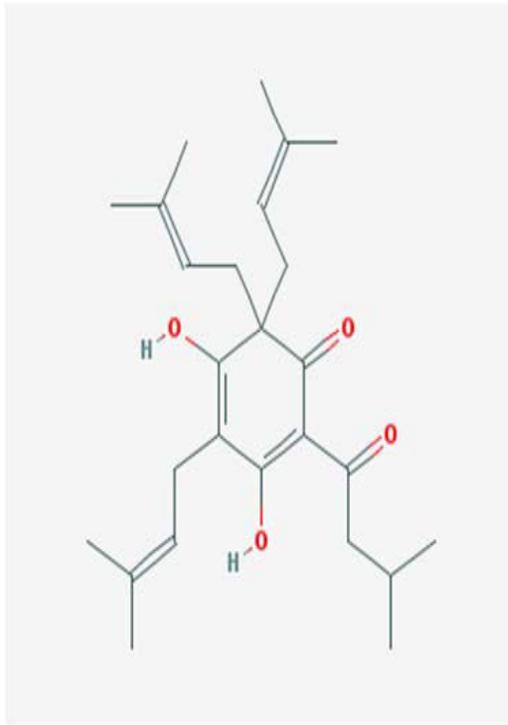
ADHUMULONA



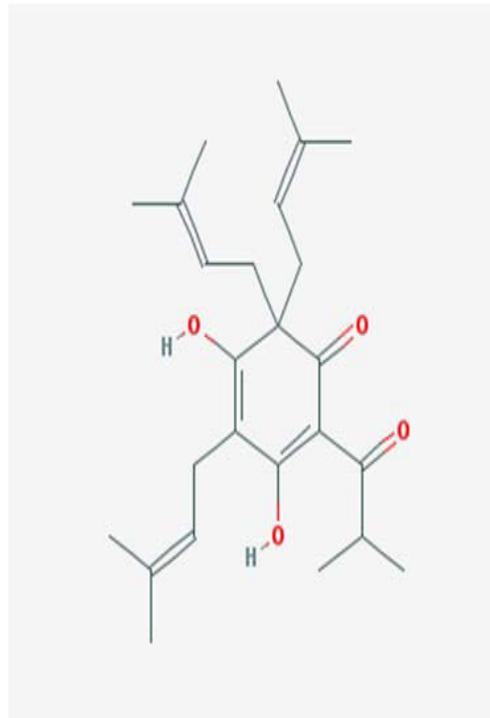
Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki>

FORMULA DE LOS BETA ACIDOS DE RESINA DE LUPULO

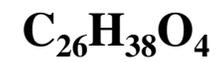
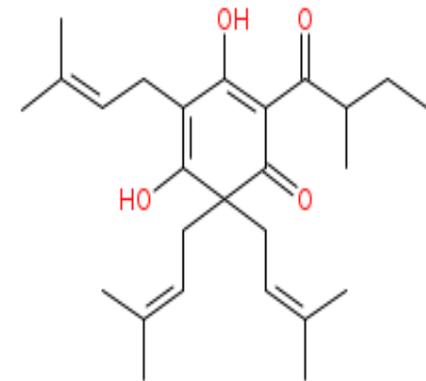
LUPULONE



COLUPULONE

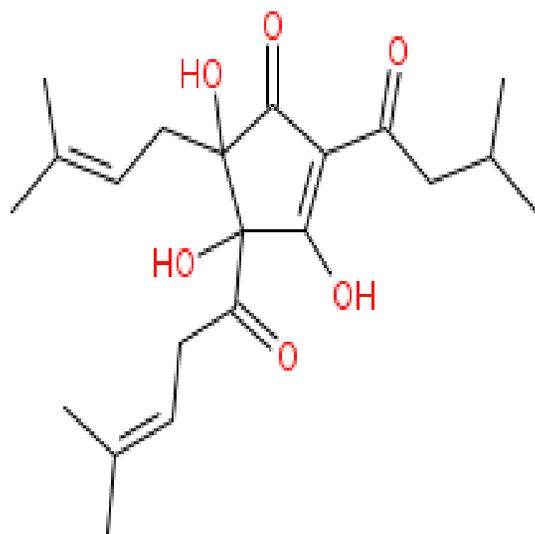


ADLUPULONE

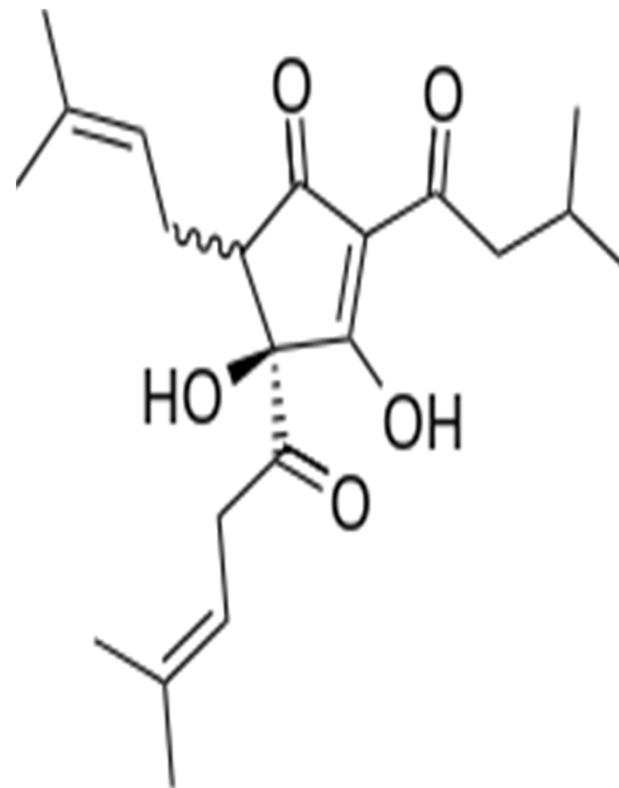


Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki>

FORMA OXIDADA DEL ALFA ACIDO



FORMULA DEL ISOHUMULONA



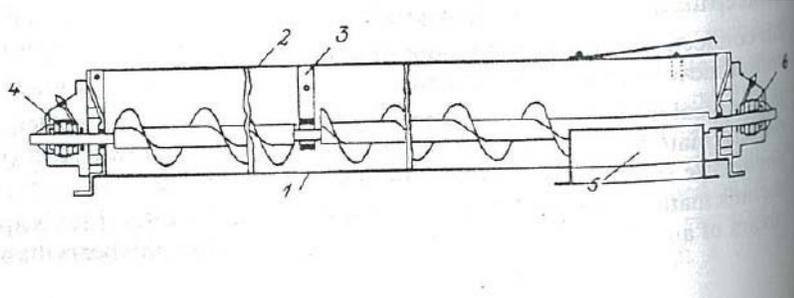
Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki>

MEDIOS DE TRANSPORTE MECANICO

TRANSPORTADOR DE TORNILLO

Screw conveyor

- (1) trough
- (2) trough cover
- (3) intermediate bearing
- (4) end bearing
- (5) discharge position at end
- (6) drive

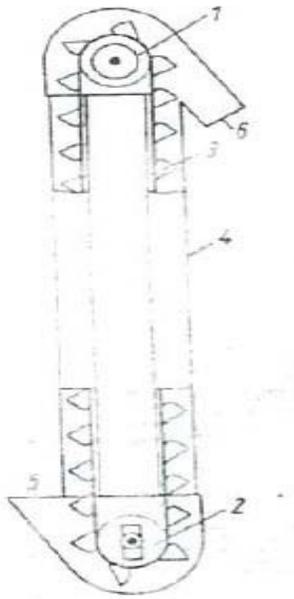


Fuente: Fuente: Wolfgang Kunze , 7 edición 1996, p 102



<http://www.con-v-airolutions.com/en/sludge-screw-conveyors.php>

TRANSPORTADOR DE CANGILONES



Bucket conveyor or elevator

- (1) upper pulley with drive
- (2) lower pulley with tensioning device
- (3) conveyor belt with buckets
- (4) casing
- (5) bottom trough or gutter
- (6) discharge outlet

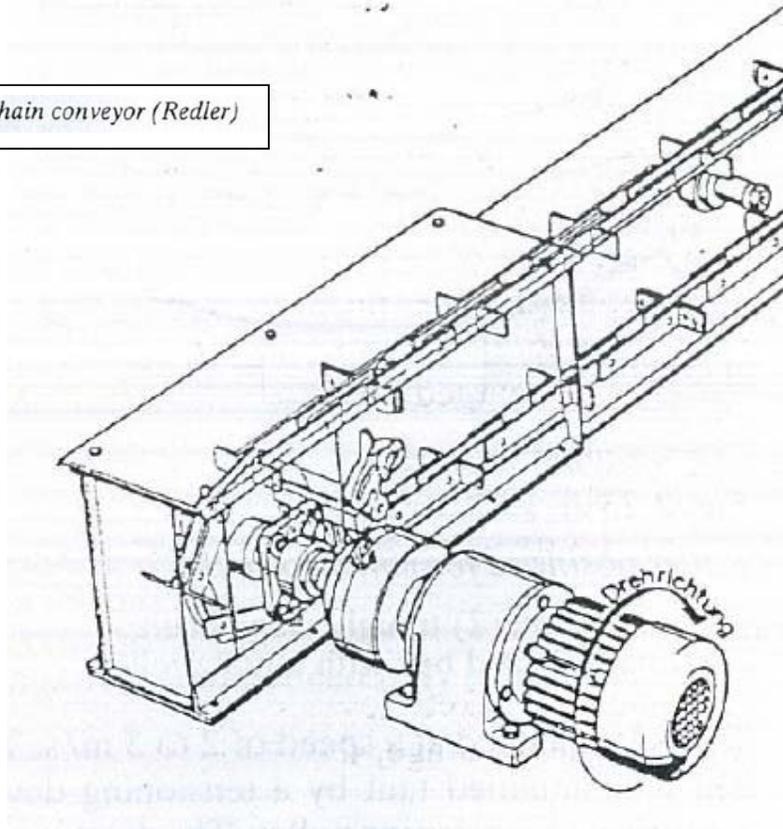
Fuente: Wolfgang Kunze p 102



https://www.youtube.com/watch?v=6NBgY_OaEPI

TRANSPORTADOR DE CADENAS

Troughed chain conveyor (Redler)



Fuente: Wolfgang Kunze p 103



Fuente: <http://www.materialhandlingsystems.co.in/drag-chain-conveyors.html>

MEDIO DE TRANSPORTE NEUMATICO

Suction plant

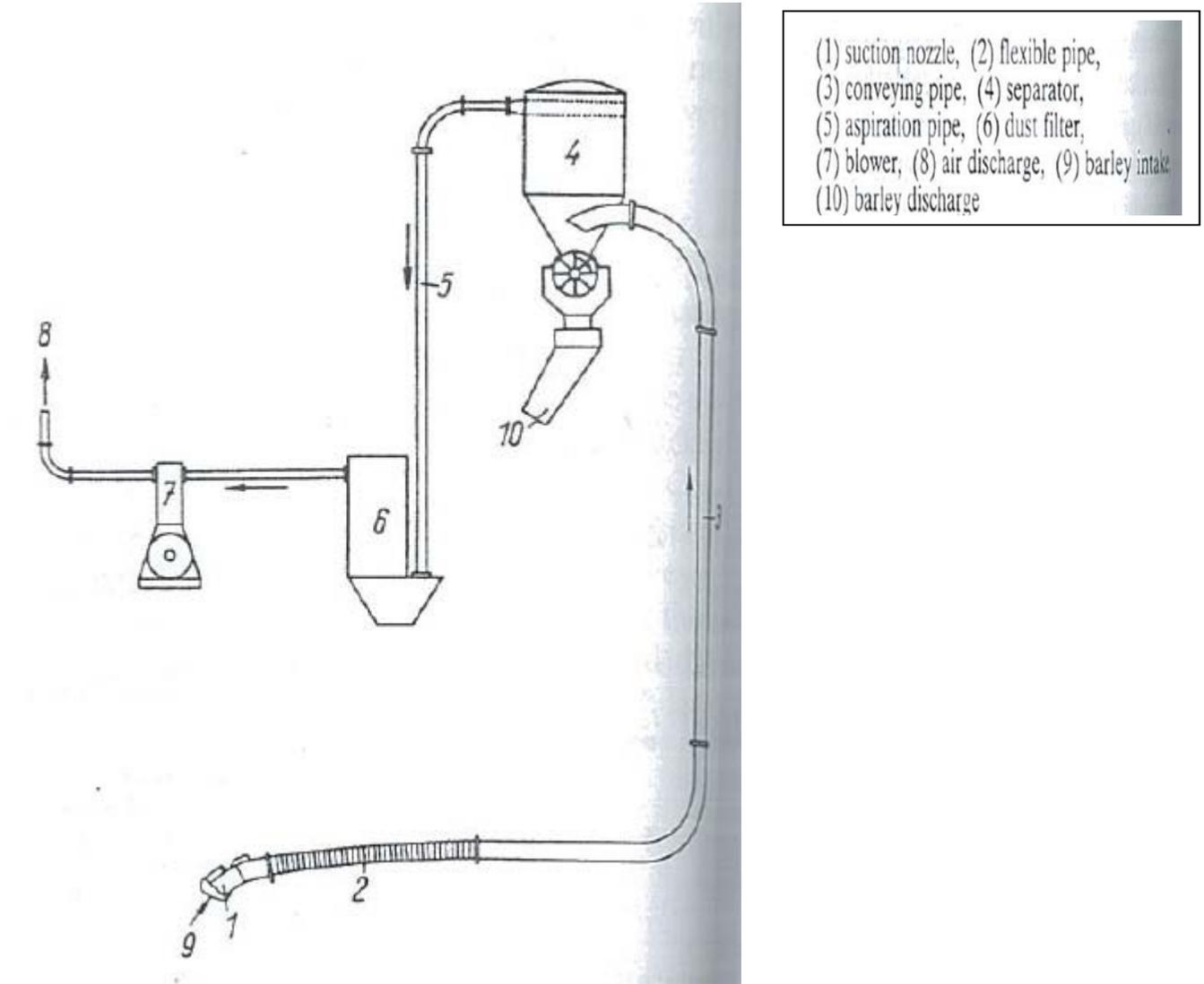


Figura 1. Planta succionadora de grano

Fuente: Wolfgang Kunze , 7 edición 1996, p 104



Figura 2. Planta succionadora de grano

Fuente: <http://dir.indiamart.com/bengaluru/pneumatic-conveyors.html>

MODELO DE MOLINOS DE RODILLOS

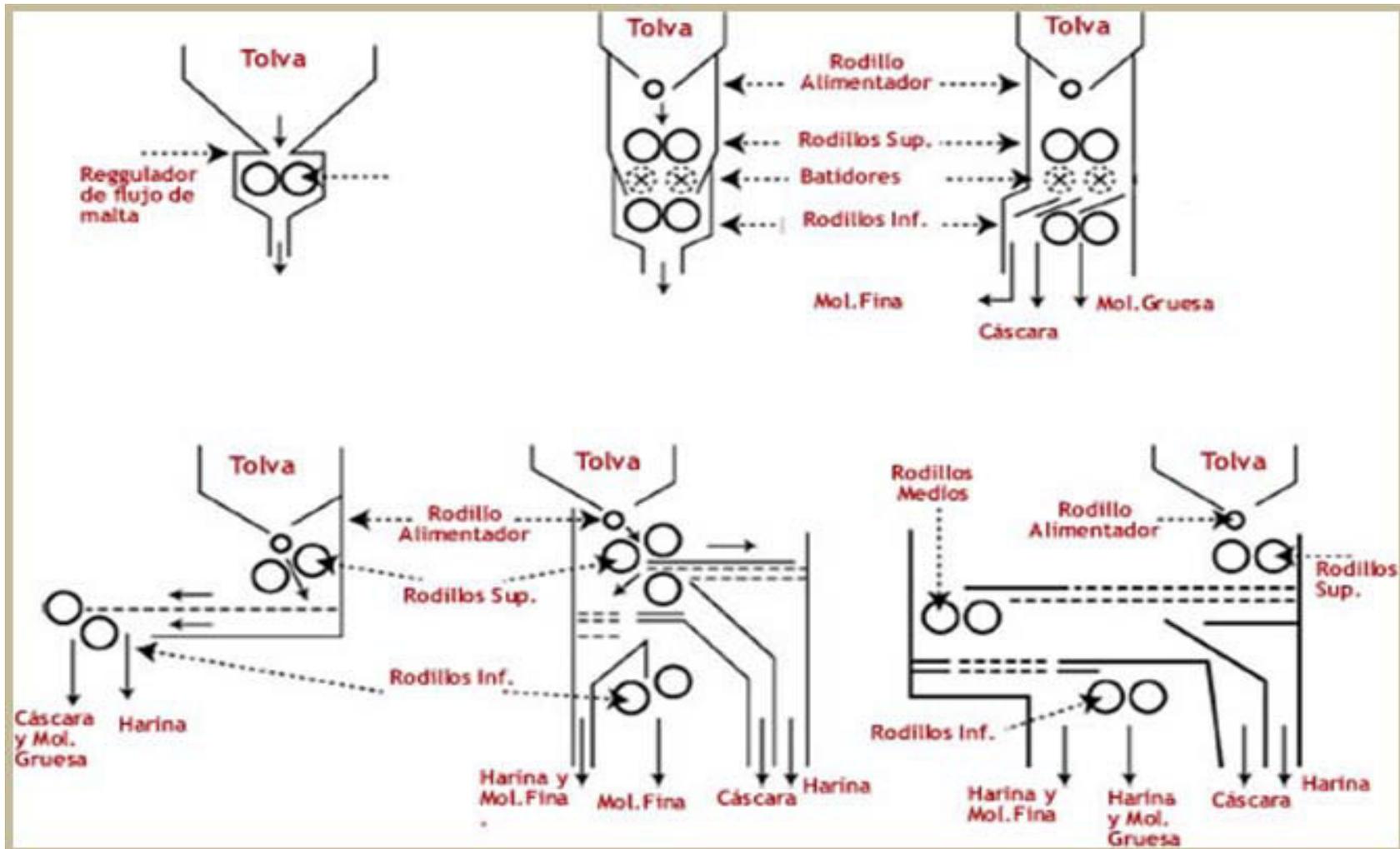


Figura 1. Molino de Rodillos

Fuente :<http://www.revistamash.com/detalle.php?id=347>

MODELO DE MOLINO DE MARTILLO

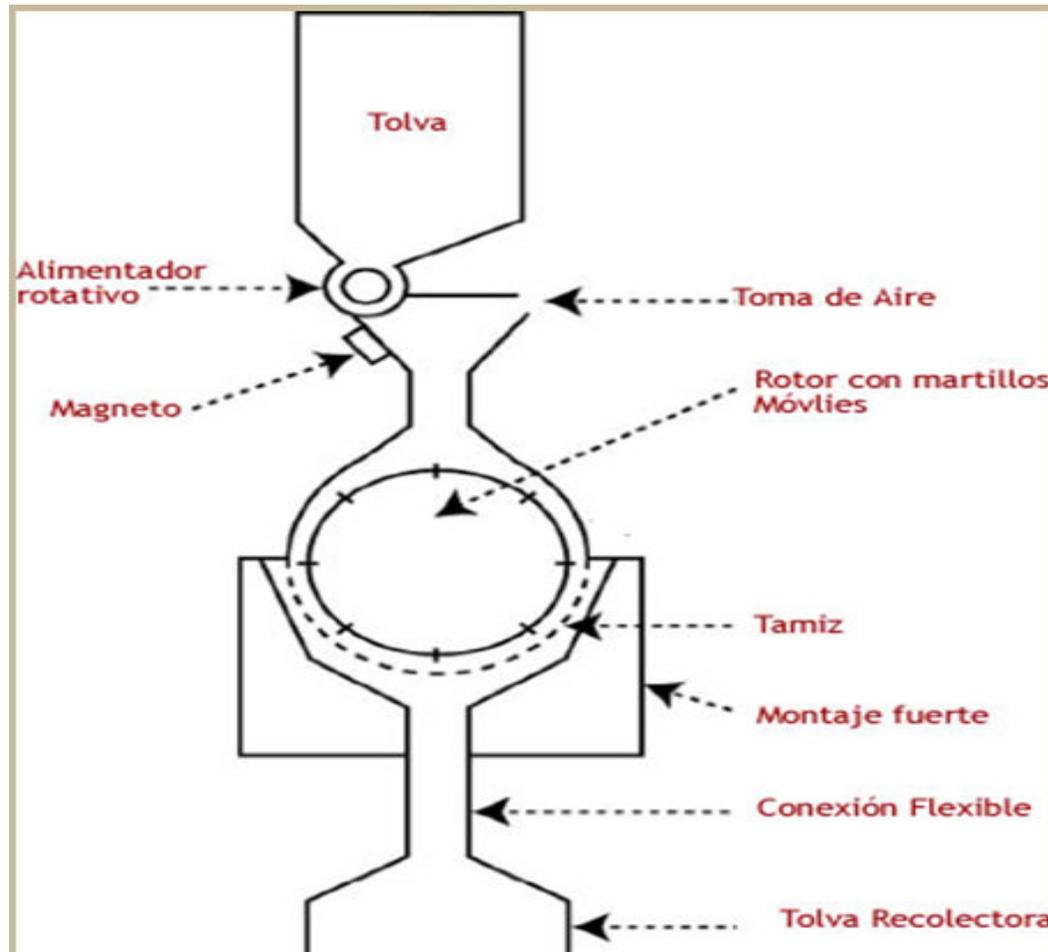


Figura 2. Molino de Martillo
Fuente: <http://www.revistamash.com/detalle.php?id=347>

TEMPERATURAS DE MACERACION

Temp. (C)	Escalón	Efecto												
35-45	Empaste	Permite que los granos partidos absorban bien el agua y distribuye mejor las enzimas a través del empaste. A estas temperaturas también se producirá una cierta acidificación, cambiando potencialmente el pH del empaste.												
30-52 (35)	Descanso Ácido	Raramente necesitado por los cerveceros caseros, este descanso activa la enzima Fitasa bajando lentamente el pH del empaste. Para obtener un resultado apreciable es preciso sostener este escalón un tiempo muy prolongado.												
40 a 50	Descanso de Beta-glucanos	Rompe los beta-glucanos en los cereales sin maltear o en copos y en las maltas poco modificadas. Sin un descanso a estas temperaturas, los beta-glucanos darán lugar empastes excesivamente viscosos.												
45-55	Descanso de Proteínas	Se activan la proteasas y las peptidasas rompiendo la proteínas grandes e insolubles transformándolas en compuestos más pequeños y solubles. Estas temperaturas también darán lugar a una cierta actividad ácida.												
	Sacarificación	Este es el único descanso necesario en la maceración. Aquí las amilasas y la dextrinasa límite degradan el almidón produciendo azúcares y dextrinas.												
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>° C</th> <th>Enzima</th> <th>Función</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>60-63</td> <td>Limit dextrinase</td> <td>Degrada los almidones grandes en almidones más pequeños accesibles a la amilasa alfa</td> </tr> <tr> <td>67-75</td> <td>Alpha amylase</td> <td>Rompe las cadenas de almidón produciendo azúcares, que pueden o no ser fermentables.</td> </tr> <tr> <td>60-65</td> <td>Beta-amylase</td> <td>Transforma los azúcares complejos en azúcares fermentables más simples</td> </tr> </tbody> </table>	° C	Enzima	Función	60-63	Limit dextrinase	Degrada los almidones grandes en almidones más pequeños accesibles a la amilasa alfa	67-75	Alpha amylase	Rompe las cadenas de almidón produciendo azúcares, que pueden o no ser fermentables.	60-65	Beta-amylase	Transforma los azúcares complejos en azúcares fermentables más simples
° C		Enzima	Función											
60-63		Limit dextrinase	Degrada los almidones grandes en almidones más pequeños accesibles a la amilasa alfa											
67-75	Alpha amylase	Rompe las cadenas de almidón produciendo azúcares, que pueden o no ser fermentables.												
60-65	Beta-amylase	Transforma los azúcares complejos en azúcares fermentables más simples												
77+	Mashout	A estas temperaturas se reduce la viscosidad del empaste haciendo más fácil la separación del mosto. Además comienza la desactivación y desnaturalización de las enzimas.												

Figura 1. Temperaturas de Maceración

Fuente: <http://www.revistamash.com/detalle.php?id=376>

Tabla N° 4. Calculo del alcohol en cerveza

Ejemplo

Queremos calcular el extracto original de una cerveza de 4.6% en volumen de alcohol con una gravedad final de 1.010

Solución

Porcentaje de alcohol en volumen (%)	4.6 v/v
Densidad del alcohol (KG/L)	0.79 KG/L

Porcentaje de alcohol por peso (%)	3.634 p/p
------------------------------------	-----------

Masa de alcohol en la solución	0.0367034 GR de alcohol
--------------------------------	-------------------------

Masa del Alcohol en la Solución=(OG-FG)*1.05

Reemplazando obtenemos OG= 1.045 lo que equivale en tablas de conversion a 11.2 °P

Si queremos calcular el porcentaje de alcohol en volumen en forma practica podemos usar la sgte formula:

$$\%ABV=(OG-FG)*131$$

El valor hallado en esta formula es facil de convertir a % en peso usando las formulas arriba mencionadas.

Fuente: <http://brewmasters.com.mx/como-medir-el-contenido-de-alcohol-en-la-cerveza/>