

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE MONTERREY
UNIVERSIDAD VIRTUAL**



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY®**

**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SEIS SIGMA
EN UNA EMPRESA CERVECERA**

PROYECTO PRESENTADO POR:

**JAIME CASTRO BATISTA
ADOLFO BARROSO PLATA
GUSTAVO ADOLFO LUJÁN MORENO**

**Presentada ante la Dirección Académica de la Universidad Virtual del
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
Como Requisito Parcial para Obtener
El Certificado de:**

BLACK BELT EN SEIS SIGMA

ABRIL DE 2008

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE MONTERREY
UNIVERSIDAD VIRTUAL**



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY®**

**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SEIS SIGMA
EN UNA EMPRESA CERVECERA**

PROYECTO PRESENTADO POR:

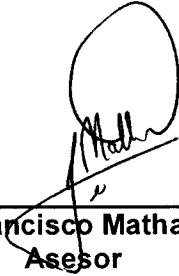
**JAIME CASTRO BATISTA
ADOLFO BARROSO PLATA
GUSTAVO ADOLFO LUJÁN MORENO**

**Presentada ante la Dirección Académica de la Universidad Virtual del
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
Como Requisito Parcial para Obtener
El Certificado de:**

BLACK BELT EN SEIS SIGMA

ABRIL DE 2008

Aplicación de la Metodología de Seis Sigma en una Empresa Cervecera



Ing. Juan Francisco Mathan Polanco
Asesor



Ing. Alejandro Valenzuela Valenzuela
Sinodal



Ing. Manuel Oscar Munguía Romo
Sinodal

Aplicación de la Metodología de Seis Sigma en una Empresa Cervecera



**Jaime Castro Batista
Adolfo Barroso Plata
Gustavo Adolfo Luján Moreno**

Proyecto de Seis Sigma presentado a la facultad del ITESM

**Este trabajo es requisito parcial para obtener el Certificado Black
Belt en Seis Sigma**

Dedicatoria

A Dios por darnos vida y la oportunidad de ser mejores.

A nuestras familias por el apoyo, paciencia y amor en todas las ocasiones que estuvimos ausentes.

Reconocimientos

Nuestro más sincero agradecimiento a nuestro comité evaluador por su tiempo y asesoría para enriquecer nuestro Proyecto de Seis Sigma.

Agradecemos al Equipo Docente del PGIT por su aportación de conocimiento tan importante para la realización de este trabajo, así como su asesoría y su excelente atención hacia los alumnos.

Por último, agradecemos a Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma, muy especialmente a la Dirección, Gerencia de Recursos Humanos y Gerencia de Elaboración, quienes desde un inicio estuvieron dispuestos y motivados a llevar a cabo el primer proyecto de Seis Sigma en la Planta de Navojoa.

Resumen

Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma (CCM) es la cervecera más antigua de México, con más de un siglo de operación. Produce prestigiosas marcas como Tecate, XX lager, Sol, Bohemia, Superior, Indio, High Life, Noche Buena y Carta Blanca entre otras. Sus productos se exportan a todos los continentes del mundo, siendo Estados Unidos su principal destino. Pertenece al grupo Fomento Económico Mexicano S.A. (FEMSA) quien es el líder en el mercado de bebidas en Latinoamérica y uno de los principales productores a nivel mundial.

A pesar del aumento en ventas en los últimos años tanto a nivel doméstico como en exportación, el costo de los principales insumos con lo son la malta, la cebada, lata de aluminio y algunos otros, han presionado de manera dramática los costos de producción, algunos de ellos con aumento de arriba del 100% respecto al 2007. Todo esto provocado por la dinámica actual de los mercados, especialmente el surgimiento de China como potencia económica y en general de los mercados asiáticos. La Dirección General en una estrategia por convertir este escenario de oportunidad en una ventaja competitiva, no ha querido transferir el costo de estos aumentos hacia el consumidor, a través del precio de venta. A raíz de esto se realizan diferentes esfuerzos en todas las unidades de negocio para ejecutar un plan de austeridad y de cuidado de los recursos, principalmente, el de los insumos.

En esta empresa el producto más valioso y el más costoso es la cerveza. En el año 2007 CCM terminó con un 4.06% de merma de cerveza en el área de elaboración. Si bien este indicador es aceptable en la industria cervecera a nivel mundial la Dirección de Operaciones solicitó a Planta Navojoa el compromiso de ahorro por este concepto para el 2008 por 2 millones de pesos, lo que equivale al 3.5 % de merma de cerveza en el área de elaboración.

Se elaboró una propuesta de proyecto para implementar la metodología de Seis Sigma en el área de elaboración y ayudar a la Gerencia a cumplir con el compromiso de ahorro. La propuesta fue aceptada y se definió el alcance para el área de cocimientos, que es un subproceso del área de elaboración. Este documento contiene los resultados de dicho proyecto.

Tabla de contenido	Página
Capítulo 1. Introducción	
Resumen	1
1.1 Descripción de la empresa	1
1.2 Descripción del producto	2
1.3 Objetivo del proyecto	2
1.4 Planteamiento del problema	3
1.5 Justificación	3
1.6 Objetivo específico	3
1.7 Alcance del proyecto	4
1.8 Producto final	4
1.9 Estructura del reporte	4
Capítulo 2. Revisión bibliográfica	
Introducción	5
2.1 Seis Sigma	6
2.2 Las fases de Seis Sigma	6
2.3 El rol del líder en Seis Sigma	8
2.4 La selección correcta de proyectos	9
2.5 El rol de las herramientas de Seis Sigma	10
2.6 Seis Sigma como ventaja competitiva	11
2.7 Lean Seis Sigma	11
Capítulo 3. Metodología de investigación	
Introducción	13
3.1 Proceso bajo estudio	13
3.2 Métodos analíticos y software	13
3.3 Metodología Seis Sigma: DMAIC	13
3.3.1 Definir	14
3.3.2 Medir	16
3.3.3 Analizar	20
3.3.4 Mejorar	21
3.3.5 Controlar	22
3.4 Características de la muestra	22
3.5 Prueba de hipótesis	22
3.6 Nivel de significancia	23
Capítulo 4. Resultados de la investigación	
Introducción	24
4.1 Resultados de la fase de Definir	26
4.2 Resultados de la fase de Medir	26
4.3 Resultados de la fase de Analizar	32
4.4 Resultados de la fase de Mejorar	40
4.5 Resultados de la fase de Controlar	44

Tabla de contenido	Página
Capítulo 5. Recomendaciones y trabajos futuros	
Introducción	46
5.1 Recomendaciones al proceso	46
5.2 Trabajos futuros	46
Apéndice A. Lista de figuras	
Tabla Título	
3.1 Project Charter	48
Bibliografía	49
Vita	49

1 INTRODUCCIÓN

Resumen

El presente trabajo contiene los resultados de la aplicación de la metodología de Seis Sigma en Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma Planta Navojoa llevado a cabo en el primer trimestre del año 2008. La metodología fue aplicada en el área de cocimientos con el objetivo de disminuir el porcentaje de merma de cerveza, el cual es el principal producto de la empresa, así como el más costoso.

1.1 Descripción de la empresa

Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma (CCM) es la cervecera más antigua de México, con más de un siglo de operación. Produce prestigiosas marcas como Tecate, XX lager, Sol, Bohemia, Superior, Indio, High Life, Noche Buena y Carta Blanca entre otras. Sus productos se exportan a todos los continentes del mundo, siendo Estados Unidos su principal destino. CCM pertenece a la División Cerveza del grupo Fomento Económico Mexicano S.A. (FEMSA) quien es el líder en el mercado de bebidas en Latinoamérica y uno de los principales productores a nivel mundial. Actualmente cuenta con 6 plantas en México ubicadas estratégicamente en las ciudades de Tecate, Monterrey, Navojoa, Toluca, Orizaba y Guadalajara. Hace un par de años la División Cerveza de FEMSA adquirió Cervecería Kaiser de Brasil, la tercera cervecera de ese país, la cual produce la prestigiosa cerveza del mismo nombre. Con esta adquisición, FEMSA se consolida como uno de los principales productores de cerveza a nivel mundial, exportando su portafolio de productos a distintos rincones del globo e integrando sus operaciones bajo un mismo esquema de negocio, consolidándose así como el líder en el mercado de bebidas en Latinoamérica.

CCM Planta Navojoa se encuentra ubicada a 330 Km. al sur de Hermosillo, en el estado de Sonora. Inició operaciones el 6 de diciembre de 1991, con el objetivo de satisfacer la demanda cada vez más grande del mercado en el Noroeste del país. CCM Planta Navojoa es la cervecera más moderna del grupo y una de las más avanzadas en tecnología a nivel Latinoamérica, utilizando sistemas de administración de cadena de suministro, procesos productivos automatizados y sistemas de información centralizada, lo cual permite tomar decisiones en tiempo real.

Actualmente la planta cuenta con una capacidad instalada de 450,000 hectolitros mensuales, con una saturación de 95%, esto ha provocado la construcción de una planta nueva en la ciudad de Meoqui, Chihuahua, la cual iniciará operaciones en el año 2010 y abastecerá parte del mercado que hoy en día atiende Navojoa.

1.2 Descripción del producto

La cerveza es una bebida alcohólica preparada con malta, cebada, lúpulo, adjuntos y levadura. El alcohol es producido al fermentar, sin destilar, el azúcar contenido en el mosto, el cual es una solución que se obtiene generalmente de los cereales malteados.

Existen diferentes tipos de cervezas: Lager, Ale, Light, Dry, Ice, Sin Alcohol y Shandy, las cuales se describen brevemente a continuación:

Lager: Son de fermentación baja, lo que significa que la levadura se asienta en el fondo del tanque al terminar su fermentación

Ale: Son de fermentación alta y se distinguen por que la levadura al finalizar su fermentación asciende a la superficie del tanque

Light: Son aquellas cervezas producidas bajo condiciones especiales que dan una reducción en la cantidad de carbohidratos y por consecuencia en el número de calorías

Dry: El concepto Dry está más orientado hacia la mercadotecnia que a la tecnología. Tuvo su origen en Japón, y se caracteriza por tener un extracto real ligeramente más bajo que el de la cerveza normal

Ice: Se produce mediante una tecnología que congela la cerveza en su etapa de reposo para obtener una mayor separación de proteínas. Normalmente son de más alto contenido de alcohol que la cerveza regular

Sin alcohol: Se obtiene por un proceso de eliminación del alcohol de una cerveza normal, o bien mediante un proceso de fermentación controlada.

Shandy: Es una mezcla de cerveza preferentemente tipo Light con un concentrado cítrico o de fruta y agua carbonatada (<http://www.ccm.com.mx/>)

1.3 Objetivo del proyecto

Implementar la metodología de Seis Sigma en una empresa cervecera con la intención de cumplir con uno de los requisitos para recibir el certificado como Black Belt en Seis Sigma por parte del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) y la Arizona State University (ASU).

1.4 Planteamiento del problema

Uno de los indicadores más importantes del área de elaboración es la merma de cerveza. Esta se define como el porcentaje de pérdida en el proceso de extracto de cerveza con relación al total de cerveza enviada a envasado. Este dato lo calcula oficialmente de manera mensual el departamento de administrativo, quien es el responsable de generar los estados financieros para la empresa. Este indicador se obtiene al hacer un corte de inventarios y calcular el volumen teórico que debió producirse respecto al consumo de materia prima en el mes, contra lo que se entregó realmente al área de envasado. El año 2007 cerró con un 4.06% de merma elaboración. Para el año 2008 la Dirección de Operaciones está pidiendo un ahorro de 2 millones de pesos anuales en este concepto, como parte de un plan de austeridad y cuidado de los recursos que tiene como objetivo contener el impacto en el alza de precios de los principales insumos y evitar así el traspaso de este costo al consumidor.

Se han hecho esfuerzos aislados al tratar de minimizar este indicador pero no han sido tan efectivos como se esperaban.

1.5 Justificación

Tener un proceso estable y eficiente contribuye a mejorar los indicadores de proceso. Este proyecto está enfocado a cumplir con un indicador crítico para los clientes, el precio del producto, a la vez que se contribuye a reducir el costo unitario de producción (CUP), otorgando de esta forma mayor rendimiento a los accionistas. En caso de no implementar este proyecto o alguna metodología de mejora al proceso de elaboración para poder reducir el indicador de merma, el consumo de materia prima aumentaría, disminuyendo el flujo de efectivo y por consiguiente aumentando el CUP. Si el CUP aumenta de manera considerable, el aumento proporcional puede ser traspasado al consumidor. Altos precios, son siempre una variable clave a la hora que un consumidor elige un producto, y en el caso de la cerveza, el consumidor podría preferir otras marcas más baratas, perdiendo así ventas potenciales. Es por esto la importancia de implementar de manera eficiente una metodología que ayude a reducir el porcentaje de merma de cerveza en el área de elaboración.

1.6 Objetivo específico

Reducir la merma de cerveza del área de elaboración de una base de 4.06% acumulado al cierre del año 2007 a 3.5% acumulado al cierre del 2008. Esto es equivalente a afirmar que se esperan ahorros por 2 millones de pesos anuales en ahorro por concepto de reducción de la merma de cerveza de elaboración.

1.7 Alcance del proyecto

El alcance del proyecto se limita solo al área de cocimientos, que es el primer proceso del área de elaboración. Las otras dos áreas del proceso de elaboración son fermentación y salas frías, las cuales no se contemplaron dentro del alcance de este proyecto, así como tampoco se contempló la merma de cerveza generada por el área de envasado, que es el siguiente proceso después de elaboración.

1.8 Producto final

El producto final de este proyecto es documentar la implementación de la metodología de DMAIC de Seis Sigma en el proceso de cocimiento, cuyo objetivo ya se mencionó anteriormente, y revisar fase por fase los resultados, conclusiones y comentarios de cada uno de los pasos del proceso.

1.9 Estructura del reporte

El reporte está estructurado en capítulos. En el presente capítulo se hizo una introducción al proyecto, haciendo una breve descripción de la empresa y del producto, explicando el objetivo, problemática, justificación y alcance del proyecto. En el capítulo 2, se hará una revisión bibliográfica de Seis Sigma, donde se verá en qué consiste la metodología de Seis Sigma, cuáles son las fases de Seis Sigma, cuál es el rol del líder en la implementación de proyectos, el rol de las herramientas de Seis Sigma, cómo la metodología brinda una ventaja competitiva a las empresas que la aplican y por último la integración de Seis Sigma con la filosofía Lean. Esta revisión es con el objetivo de comprender los principales fundamentos de la metodología y cómo estos contribuyen a una implementación efectiva en la práctica. En el capítulo 3 se explicará la metodología de la investigación, se definirá el proceso bajo estudio, los materiales y software utilizado, así como el proceso DMAIC, también se hablará de las características de la muestra así como la prueba de hipótesis planteada para este proyecto. En el capítulo 4 se hablará a profundidad y a detalle los resultados obtenidos en cada una de las fases, haciendo un análisis de la validación estadística de los datos, discutiendo el análisis de regresión y comentando acerca de la comprobación de hipótesis. Por último, en el capítulo 5 hablaremos de las recomendaciones y trabajos futuros aplicables a este proyecto.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Introducción a Seis Sigma

La historia de la mejora de la calidad comienza a principios del siglo XX cuando Frederick Taylor separó el trabajo de una empresa del planeamiento y mejora de éste; esta separación es muy importante para la empresa porque le permite tener una mejor organización y tener siempre claro lo que ésta debe hacer a futuro. Esta separación del trabajo mismo del área de administración sigue vigente en las empresas en la actualidad. (Farol, 1984)

Posteriormente se fueron desarrollando procesos estadísticos que siguen siendo usados frecuentemente tanto en teoría como en práctica, algunos ejemplos son:

- La distribución t de W.S. Gosset (bajo el pseudónimo de "student") en 1908,
- El Diseño de Experimentos y la tabla ANOVA de Fisher (en la década de 1920's),
- Las Cartas de Control de Walter A. Shewhart, el SQC (Control Estadístico de la Calidad por sus siglas en inglés, Statistical Quality Control) durante las décadas de 1940 y 1950 creado por dos compañías (Dodge y Romig),
- El SPC (Control Estadístico de Procesos, también por sus siglas en inglés, Statistical Process Control) desarrollado en la década de 1960. (Snee, 2004).

Más recientemente se encuentra el TQM (Administración Total de la Calidad, por sus siglas en inglés Total Quality Management) que fue desarrollado bajo las enseñanzas de dos gurús en el control de la calidad en esos años: W. Edwards Deming y Joseph M. Juran. TQM incluía un énfasis en el entrenamiento de los trabajadores y en que la empresa estuviera activamente consciente de la calidad de sus productos. Desafortunadamente, debido principalmente a la pobre continuidad que se le dio al seguimiento del problema, a la falta de una estructura paso a paso y al poco énfasis en la calidad resultó ser una metodología no eficaz y más bien deficiente. A pesar de esto, TQM era la metodología más utilizada desde la mitad de la década de los 1980 hasta principios de la década de 2000 a falta de una mejor alternativa. (Manitoba, 2005).

Cronológicamente "Seis Sigma" nace en Motorola un poco después de 1984 donde Mikel J. Harry, un ingeniero empleado por la empresa, empezó a trabajar después de obtener su doctorado en Arizona State. En Motorola, Mikel conoce a Bill Smith, un ingeniero veterano quien en palabras del propio Mikel J. Harry posteriormente se convirtió en el padre de Seis Sigma. (Maguire, 1999).

Mikel J. Harry decidió estudiar la variación en varios procesos dentro de la empresa y notó que ésta es directamente proporcional a la insatisfacción de los clientes. Posteriormente dedicó mucho tiempo a la medición de la variación de

los procesos dentro de la empresa antes de actuar; y decidió actuar en la mejora de los procesos que presentaban mayor variación con el objetivo de reducirla y controlarla. Harry comenta que él no inventó "Seis Sigma", solamente se convirtió en el "Padrino" de esta metodología al agregarle algo de matemáticas y vestirlo para que fuera a la escuela.

2.1 Seis Sigma

En 1999, Ronald Snee define Seis Sigma como una estrategia de mejora empresarial que busca tanto el incremento de la satisfacción del cliente como la mejora de las ganancias financieras de la organización. Snee afirma que el éxito y popularidad de Seis Sigma se debe a las siguientes características:

- Brinda beneficios directamente al flujo financiero de la empresa
- El liderazgo y la experiencia desempeñan un papel clave
- Uso de una metodología
- Desarrollo rápido de proyectos (3-6 meses)
- Métricas claramente definidas del éxito del proyecto
- Existen roles y niveles jerárquicos para integrantes de los equipos de mejora
- Enfoque en el cliente y procesos
- Uso de herramientas estadísticas para alcanzar las mejoras.

Otras iniciativas de calidad cuentan con una o dos de las características mencionadas anteriormente pero sólo Seis Sigma basa su éxito en la aplicación simultánea de las ocho.

Mikel Harry (2000) profundiza aún más en el concepto de Seis Sigma y menciona que esta metodología representa un nuevo sistema de calidad multidimensional y holístico que viene a reemplazar los anteriores requerimientos del cliente de "forma, dimensión y funcionalidad". En esta nueva visión de la calidad, tanto el cliente como el proveedor reciben beneficios financieros (utilidades), de disponibilidad y valor agregado.

Derivado de lo anterior podemos definir a Seis Sigma como una estrategia que adopta una empresa con el afán de mejorar la calidad de sus productos o servicios, implementando una serie de intervenciones y herramientas estadísticas que pueden permitir el alcance de un alto beneficio económico tanto para el cliente como para la empresa.

2.2 Las fases de Seis Sigma

Parte de la razón por la que Seis Sigma es eficiente es por las fases que lo componen. El proceso es conocido como DMAIC, estas letras son las siglas en inglés (Define, Measure, Analyse, Improve, Control) de las fases: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. A continuación se define cada uno de ellos.

Definir

Definir el problema o las oportunidades de mejora, definir los límites y objetivos del proyecto. Herramientas usadas en esta etapa: Diagrama de afinidad; Lluvia de ideas; Investigación al cliente; Gráficas de Gantt; Carta de equipo (team charter); Diagrama causa-efecto; Análisis cuantitativo de procesos; Mapeo de procesos; Análisis de Kano; Diagrama SIPOC y Despliegue de la Función de Calidad (Quality Function Deployment).

Medir

El propósito de esta etapa es recabar los datos que permitan describir la naturaleza y extensión del problema. Herramientas usadas en esta fase: Análisis de competencia; Hojas de verificación; Gráficas de control; Técnicas gráficas; Gage R&R; Indicadores; Muestreo; Cálculo sigma; Estratificación y Variación.

Analizar

El objetivo es la interpretación de la información obtenida en la etapa anterior para identificar las relaciones causa-efecto que están generando los defectos encontrados, fallas en el proceso, etc. Herramientas usadas en esta fase: Pruebas de hipótesis; Diagrama causa y efecto; Diseño de experimentos; Cartas de control; Gráfico Pareto; Análisis de regresión; Árbol de fallas; Confiabilidad; Simulación y Análisis del proceso.

Mejorar

Una vez que se conocen las principales causas que están generando del problema, es necesario establecer acciones o contramedidas para remediarlas. En esta etapa se definen y se llevan a cabo las alternativas de solución para alcanzar los resultados deseados en el proyecto. Herramientas utilizadas en esta fase: Análisis costo-beneficio; Diseño robustos; Experimentación secuencial; Despliegue de la Función de Calidad (QFD); Técnicas de optimización: MSR, Confiabilidad, Pruebas de confirmación.

Controlar

En esta etapa nos aseguramos que las mejoras obtenidas serán preservadas, al menos hasta que se recolecten nuevos datos o se obtenga información diferente acerca de una mejor manera en que puede ser operado el proceso. El equipo de mejora deberá entregar el nuevo conocimiento del proceso a su dueño y asegurarse que todos los que operan el proceso cuentan

con el debido entrenamiento en los nuevos procedimientos. Herramientas de esta etapa: Análisis de Modo y Efecto de la Falla; Sistema de control de procesos; Cierre de proyecto y Planeación del trabajo.

2.3 El rol del líder en Seis Sigma

Los diferentes roles son necesarios dentro de un grupo de trabajo para facilitar el cumplimiento de los propósitos del grupo. Algunos de los nombres dados a estos roles son Champion, Master Black Belt, Black Belt, Green Belt. Estos roles describen funciones por desempeñar sin posiciones definitivas y no se debe confundir estos papeles con posiciones de promoción o poder tal como gerente o supervisor en general.

Champions

Son personas que tienen un cargo muy alto en la empresa, en empresas grandes puede ser por ejemplo el vicepresidente. Su entrenamiento previo al comienzo del programa es de muy poco tiempo, usualmente de dos a cinco días. Sugieren y apoyan proyectos, ayudan a obtener recursos necesarios y eliminan los obstáculos que impiden el éxito del proyecto. Participan en la revisión y aseguran que se desarrolle la metodología Seis Sigma.

Master Black Belt (MBB)

Este cargo puede ser de una o varias personas, trabajan tiempo completo y deben saber todo lo que saben los Black Belts (BB) y además tener bases matemáticas fuertes con respecto a la metodología estadística a utilizar. Parte de su trabajo también es ayudar a los BB en aplicar metodología estadística de manera correcta; el entrenamiento estadístico de la empresa debe ser únicamente por parte de los MBB debido a que si el entrenamiento no es hecho de la manera correcta, el "error" generado se propaga a todos los demás niveles inferiores de donde éste surgió. Si es que se necesita que un BB y/o Green Belts (GB) deban dar entrenamiento al personal, debe ser siempre bajo la supervisión del MBB. Las personas con este cargo deben tener habilidades de liderazgo, comunicativas y educativas para poder coordinar a los BB y a los GB de una forma óptima. Su entrenamiento previo al comienzo del programa es usualmente de 4 semanas. Son responsables del desarrollo e implantación del programa Seis Sigma.

Black Belts (BB)

Los candidatos a BB no necesitan tener un alto nivel matemático ya que lo que más bien se necesita es que éstos provengan de diversas áreas de conocimiento, es por esto que su entrenamiento estadístico normalmente tiene una duración de dos a cinco semanas. Los BB deben tener habilidades computacionales ya que en algún punto de su entrenamiento se les requerirá utilizar paquetes computacionales de estadística avanzados. Son los responsables de medir, analizar, mejorar y controlar los procesos que intervienen en la satisfacción del cliente, se encargan de la gerencia en los proyectos y de reportar los resultados.

Green Belts (GB)

Los GB participan activamente en los proyectos Seis Sigma recogiendo datos e información, diseñando el proceso de trabajo a ser analizado, identificando causas de los problemas y proponiendo soluciones, implementando soluciones y monitoreando y corrigiendo las soluciones. (Pyzdek, 2000).

2.4 La selección correcta de proyectos

Ronald D. Snee y Roger W. Hoerl (2003) mencionan que una actividad crucial en la metodología Seis Sigma es la selección de los proyectos que serán desarrollados y este proceso inicia desde los altos mandos, donde se han identificado las áreas de oportunidad. Posteriormente, los proyectos pasan después a ser evaluados por el Champion, quien realiza un nuevo filtro de acuerdo a criterios específicos de selección y al proceso de carta del proyecto.

Las características de un buen proyecto de Seis Sigma se listan a continuación:

- El proyecto claramente se encuentra relacionado a las prioridades de la empresa
 - Ligado al plan operativo o estratégico anual de la empresa
- El problema definido es de alta relevancia en la organización
 - Se espera una mejora muy grande en el desempeño del proceso (ejemplo >50%)
 - Se espera un gran beneficio económico (ejemplo >\$500,000 pesos anuales)
- Un alcance y plazo razonable para el desarrollo del proyecto de 4 a 6 meses

- Por lo regular el apoyo a los proyectos decrece después de 6 meses
- Un problema muy común en el desarrollo de proyectos Seis Sigma es el establecer un alcance demasiado ambicioso para el plazo de tiempo.
- Métricas claramente definidas para evaluar el desempeño del proyecto
 - Medición basal, metas y objetivos bien definidos
- La importancia del proyecto es entendible por toda la empresa
 - El personal de la empresa apoyará un proyecto del cual entienden su relevancia para la organización
- El proyecto cuenta con la aprobación y el soporte de los altos niveles gerenciales
 - Esto es vital para obtener recursos, remover barreras y mantener el ímpetu durante el tiempo de desarrollo del proyecto.

2.5 El rol de las herramientas de Seis Sigma

El éxito de la implementación de Seis Sigma depende en gran medida de que los líderes tengan un buen entendimiento de las herramientas (en qué consisten, para qué son usadas, en qué momento funcionan y en qué momento no lo hacen). Ciertamente entre más conocimiento tenga el líder acerca de las herramientas es mejor, sin embargo, más allá de que este sea un gran experto en habilidad técnica, es preferible que el líder tenga buena comprensión y familiaridad con su uso ya que el punto clave es la interpretación de los resultados que nos brindan estas herramientas tanto estadísticas como administrativas. Algunas de las herramientas de mayor relevancia en Seis Sigma son las siguientes:

- Mapa de proceso: se utiliza para mostrar un esquema del proceso en el cual se observan entradas, procesos clave y salidas.
- Diagrama causa-efecto: Un diagrama de priorización que permite identificar las variables (X's) del proceso que tienen el mayor efecto sobre la variable de respuesta (Y's).
- Análisis del sistema de medición: estudio del sistema de medición donde típicamente se utiliza el análisis Gage R&R para cuantificar la repetitividad y reproducibilidad de la medición.
- Estudio de capacidad: Análisis de la variación contra las especificaciones del proceso para estudiar la habilidad del proceso para ajustarse a las especificaciones.
- Análisis del Modo y Efecto de la Falla: procedimiento analítico para identificar problemas en el proceso priorizando modos de falla, sus efectos y posibles mejoras.

- Análisis multi-varianza: un estudio que realiza un muestreo del proceso durante su operación, el cual identifica las variables controlables y no controlables (ruidos) mediante análisis gráfico y estadístico.
- Diseño de experimentos: método de experimentación que identifica mediante experimentación sencilla, la manera en que las variables claves de respuesta afectan la salida del proceso.
- Plan de control: documento que resume el resultado de un proyecto Seis Sigma y brinda apoyo al operador para el control del proceso. (Snee, R. y Hoerl, R., 2003)

2.6 Seis Sigma como ventaja competitiva

La mayoría de los expertos en Seis Sigma (Ronald Snee, Michael L. George, Forrest W. Breyfogle III, James M. Cupello, entre otros) coinciden en que esta metodología brinda resultados dramáticos en las utilidades de la empresa cuando se hace una adecuada combinación entre la estrategia de negocio, uso de indicadores y herramientas estadísticas, todo esto tomando siempre en cuenta la opinión del cliente. Asimismo, la disponibilidad de software informático fácil de usar, ha derivado en que el proceso de análisis estadístico se haya vuelto accesible para la gran mayoría de las personas.

A pesar de estos factores, Seis Sigma aún no logra alcanzar niveles tan populares en México como lo han hecho otras estrategias de calidad como el Modelo de Gestión Total de Calidad (TQM), la cual ha tenido gran aceptación gracias a la introducción de Premios Nacionales de Calidad (recientemente incursionando con mucha fuerza en el sector salud) y certificaciones en las normas ISO. En la mayoría de las pequeñas y medianas empresas apenas comienzan a interesarse en el concepto de la mejora continua, esto a medida en que la exigencia del cliente y la competencia empresarial (derivado de la apertura comercial del País) empiezan a evolucionar. La mejora continua se vuelve ahora una apremiante necesidad para nuestros diversos sectores productivos y en este sentido Seis Sigma puede representar una ventaja competitiva clave para poner a la empresa mexicana a la par de las mejores a nivel mundial. Para esto, se necesita invertir un poco más en educación en nuestro país ya que son pocas las personas que cuentan con un entrenamiento completo como Black Belt o Master Black Belt, requisito primordial para la implementación de la estrategia Seis Sigma, pero para dar este paso primero es necesario informar, sensibilizar y convencer a los altos mandos de la empresa mexicana, ya que sin el compromiso de ellos no solamente Seis Sigma fracasará, el mismo destino tendrá cualquier otra iniciativa de calidad.

2.7 Lean Seis Sigma

Actualmente existen dos principales enfoques en la empresa para mejorar sus operaciones de fabricación. Una de ellas es a través de Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing); y el otro es Seis Sigma. Ambas son

promocionadas como diferentes enfoques y diferentes procesos, pero al ser inspeccionadas más a detalle, ambos enfoques lidian con el mismo “enemigo” y se comportan como dos eslabones de una misma cadena -esto es, que ambos enfoques dependen uno de otro para obtener el éxito. Ambas combaten contra la variación, pero desde diferentes ángulos. La integración de la Manufactura Esbelta y Seis Sigma toma dos poderosas técnicas de solución de problemas, las une y las convierte en un poderoso “combo”. A ambos enfoques se les debe ver como un complemento uno del otro, mucho más que simples equivalentes o reemplazos uno del otro. (Pyzdek, 2000).

Trabajando de manera conjunta, Manufactura Esbelta y Seis sigma, representan una formidable arma para luchar en contra de la variación de procesos. La metodología Seis Sigma utiliza técnicas de solución de problemas para determinar la manera en que los sistemas y los procesos operan y cómo reducir la variación en ellos. En un sistema en el que se combinan las dos filosofías, Manufactura Esbelta crea el estándar y Seis Sigma investiga y resuelve cualquier variación a partir de este estándar. Implementando Manufactura Esbelta con el énfasis de estandarizar, los equipos de Seis Sigma pueden ser hasta 10 veces más efectivos en disminuir los “ruidos” en el proceso. Si un determinado número de factores de “ruido” tradicionales o típicos en los procesos han sido eliminados por las acciones de Manufactura Esbelta, el resto pueden ser fácilmente identificados. El nuevo sistema Lean Seis Sigma permite la rápida solución de problemas debido a que el equipo Seis Sigma ya no tiene que hacer búsquedas exhaustivas de ruidos a través de toda la planta.

Manufactura Esbelta evidencia y/o expone diversas áreas de oportunidad de variación en toda la planta—por ejemplo, variación en el tiempo de ciclo, retraso de partes, tiempos muertos, requerimientos de habilidades especiales, operaciones fuera de estándar, problemas de calidad, etc. Por lo tanto, el practicante Seis Sigma solamente tiene que enfocarse rápida y directamente al problema, integrar un equipo de mejora, recolectar datos e información del área en cuestión, comparar estos datos con el estándar y desarrollar el proyecto de mejora. De esta manera, el practicante Seis Sigma puede ser más proactivo y dedicarse continuamente a realizar mejoras alrededor de un estándar, y al mismo tiempo incrementar el conocimiento que se tiene acerca del proceso. Es responsabilidad de la organización hacer a la empresa “esbelta”, para que al momento de implementar Seis Sigma, los equipos de mejora no anden como “bomberos” sino más bien como solucionadores de problemas proactivos y productivos. (Denecke, 1998).

3 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Introducción

En este capítulo se describirá la metodología de Seis Sigma, así como los métodos que se usaron para la investigación de campo. En esta sección se describirán las características de la muestra, cómo se seleccionó, quiénes participaron y qué características relevantes tienen, así como las pruebas de hipótesis que se plantearon en la implementación de este proyecto.

3.1 Proceso bajo estudio

El proceso general de la empresa comprende 3 áreas principales: elaboración, envasado y embarques. El primer proceso, que es elaboración, comprende a su vez 3 procesos principales: cocimientos, fermentación y salas frías. Este proyecto se enfoca en el primer proceso del área de elaboración: cocimientos, que comprende desde la recepción de materia prima hasta el enfriado de mosto. En este proceso se lleva a cabo la molienda de las materias primas, la licuefacción de los almidones, la maceración, filtrado, ebullición y enfriamiento de mosto.

3.2 Métodos analíticos y software

Al utilizar la metodología de Seis Sigma se utilizan análisis de técnicas estadísticas, como lo son: la estadística descriptiva, pruebas de normalidad, gráficas de probabilidad, pruebas de varianza, prueba t de muestreo, intervalos de confianza, gráficas de valor individual. También se utilizarán gráficas de series de tiempo, gráficos de control, ANOVA, valores P y estadísticos F. También se harán análisis de regresión y correlación. El software que se utilizará como apoyo para analizar toda la información y poder interpretarla de manera amigable es Minitab.

3.3 Metodología Seis Sigma: DMAIC

En este proyecto la definición de la problemática a atacar fue relativamente sencilla, ya que le empresa lleva un seguimiento a las áreas de oportunidad presentadas en cada uno de los años y priorizadas respecto a la contribución total en ahorro. En el caso del área de oportunidad de reducción de merma de cerveza, este era un proyecto que ya estaba asignado para el año 2008 por su impacto en el CUP, más no así la metodología a seguir. Los dos proyectos más importantes en reducción de costos para el 2008 en CCM Planta Navojoa

fueron rotura de botella y merma de cerveza elaboración, siendo este último el de mayor contribución y el de mayor probabilidad de éxito, debido a que el control sobre este proceso queda dentro de los mismos límites de la organización, a diferencia del de rotura de botella donde entran variables externas, algunas de ellas fuera del alcance de la empresa.

A continuación se describen cada uno de los pasos que se siguieron en la realización de este proyecto.

3.3.1 Definir

Integración del equipo:

Una vez definido el proyecto la Dirección definió el equipo que participaría. El equipo dentro de planta está integrado por: Alejandro Valenzuela Valenzuela, Green Belt; Gustavo Adolfo Luján Moreno, Black Belt; Julio Isidro Almaguer, Process Owner; Joseba Aguirre, Process Owner; Juan Francisco Rivera, Process Owner; René Cázarez Campos, Champion; Ramón Zárate Hurtado, Ingeniería de mantenimiento; Martín García Barrón, Operación y Milagros Armenta, practicante.

Definición del proyecto:

Ya definido el equipo que se integraría se llevó a cabo la primera reunión para definir el alcance y propósito del proyecto. Para llevar a cabo este propósito se procedió a llenar en equipo el "Project charter" (Figura 3.1). El proceso bajo estudio sería el área de elaboración, específicamente el primer subproceso que es cocimientos. Se definió la descripción del proyecto como: "Aplicación de la metodología DMAIC de Seis Sigma con el objetivo de poder minimizar la pérdida de cerveza durante el proceso de elaboración, la cual llamaremos merma de cerveza, y así poder ahorrar en costos, mejorando el costo unitario de producción, generando valor para los accionistas y cumpliendo con las necesidades del cliente al contar con un proceso más controlado".

Definición de metas:

En esta parte se definieron las metas para el proyecto, quedando establecido un 3.5% de merma de cerveza en elaboración acumulado para el cierre del 2008. En esta parte se definió que la medición del porcentaje de merma no incluiría la generada por el área de envasado y sería calculado por el departamento de administrativo, que son quienes emiten el resultado oficial

cada mes y a cierre de año. El cálculo equivalente al 3.5% de merma representa un ahorro de 2 millones de pesos anuales respecto a la base del cierre del año 2007 que fue de 4.06%. Esta sería definida como la meta financiera.

Se definió que la fecha de inicio del proyecto sería a partir del 21 de enero de 2008 y concluiría a más tardar el 20 de abril de 2008. Por último, los miembros del equipo procedieron a firmar el Project Charter como símbolo del compromiso ante el proyecto y a los resultados del mismo.

Entendiendo el proceso:

La figura 3.2 muestra el mapa de proceso de alto nivel, que explica de manera general el proceso de elaboración.

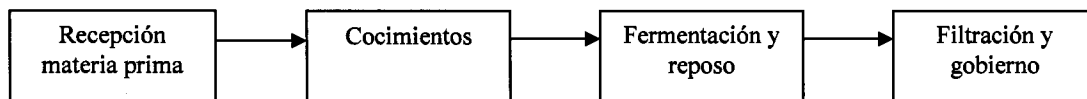


Figura 3.2 Mapa de proceso de alto nivel

El área bajo estudio, como ya se mencionó, es el proceso de cocimientos.

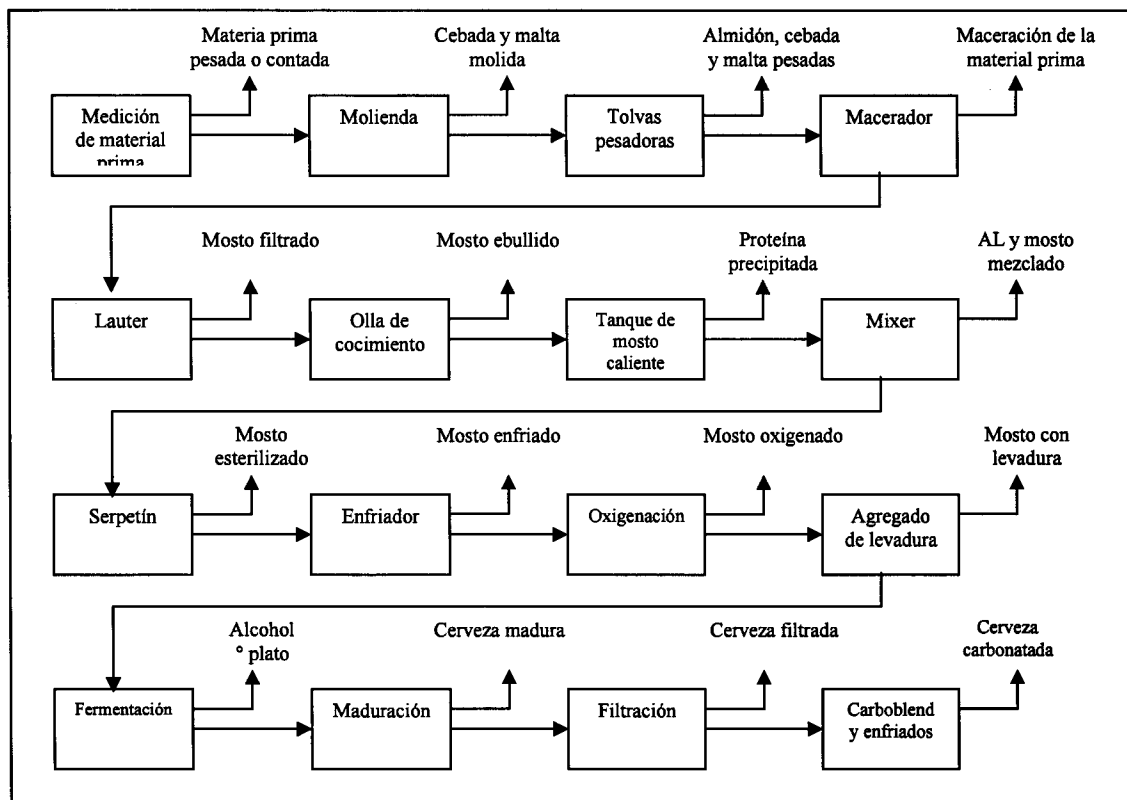


Figura 3.3 Mapa de proceso detallado

La figura 3.4 muestra el diagrama SIPOC, que muestra a los proveedores, entradas, proceso, salidas y clientes.

Proveedores	Entradas	Proceso	Salidas	Cliente
Mañera Lara Grajales	Malta	<p>The process column contains a vertical flowchart with four steps: 'Recepción Materia prima', 'Cocimientos', 'Fermentación y reposo', and 'Filtración y gobierno', connected by downward arrows.</p>	% vol. Alcohol	Envasado
CCM Planta Pachuca	Cebada		Turbidez	
S.S Steiner /Hohn I. Haas	Lúpulo		Color	
Celite de México	Tierras filtrantes		° plato	
Cargill	Adjunto líquido		Extracto aparente	
Cargill de México	Almidón		Oxígeno disuelto	
CCM Monterrey	Levadura		CO2 disuelto	
DIFUSA	Antiespumante		Amargor	
Praxair	CO2		Aroma	
Praxair	O2		Sabor	

Figura 3.4 Diagrama SIPOC de Elaboración

Como se muestra en el diagrama SIPOC, existe una variedad importante de proveedores, tanto nacionales como extranjeros. Esto hace que el proceso de abastecimiento sea complicado, ya que los tiempos de entrega así como los trámites, en el caso de los materiales de importación, hacen más tardado el proceso.

3.3.2 Medir

Confirmación de meta propuesta:

En las primeras reuniones llevadas a cabo con el equipo de este proyecto se confirmó que la meta propuesta corresponde con las expectativas de ahorro definidas por la Dirección para el año 2008, además de ser un área de oportunidad real en el proceso de elaboración. Por lo que la meta es de 3.5% de merma de cerveza acumulada en el área de elaboración al finalizar el año 2008.

“Y” identificada

La “Y” identificada es el % de merma de cerveza, que como se mencionó anteriormente, es calculada por el departamento de finanzas, y es la diferencia de lo consumido de materia prima contra lo entregado al área de envasado. La merma de cerveza en la mayoría de las cervecerías es calculada de esta forma.

Plan de recolección de información

Durante el proyecto se trabajó junto con la compañía Steinecker para poder diseñar un reporte que sirviera para recolectar información en tiempo real, aprovechando la tecnología con la que cuenta la planta. Este reporte se le denominó “Brew Report” y es un reporte muy austero que se obtiene al exportar las bases de datos contenidas en un sistema de base de datos del proceso (Botec) a Excel. La figura 3.5 muestra dicho reporte.

MANJAL	MANJAL	MANJAL	BOTE	BOTE	BOTE	BOTE	Excel	Excel	BOTE	BOTE	BOTE	BOTE	BOTE	BOTE
ADL			Almidon			Cocedor								
Cocto	AL	Volu	Marca	Fecha inicio	Tren	Almidon	Rend Malta	Rend cebac	Colchon	Vol Coc	Temp	Final	Vol Coc	Colchon
441	1	698.00	XX Lager - AL [1] V 2.00	21.02/2008 20:30:46	2	125.00	74.57%	74.57%	162.00	165.90	98.20	76.50	422.00	3.0
442	1	890.00	XX Lager - AL [1] V 2.00	21.02/2008 23:11:44	1	12.00	74.57%	74.57%	162.00	166.40	98.00	76.90	387.00	3.0
443	1	850.00	XX Lager - AL [1] V 2.00	22.02/2008 00:41:43	2	130.20	74.57%	74.57%	162.00	156.40	98.30	76.30	419.00	3.0
444	1	662.00	XX Lager - AL [1] V 2.00	22.02/2008 02:11:42	1	32.20	74.57%	74.57%	162.00	168.20	98.00	77.10	385.40	11.00
445	1	669.00	XX Lager - AL [1] V 2.00	22.02/2008 03:41:40	2	137.20	74.57%	74.57%	162.00	162.60	98.20	76.40	420.00	3.0
446	1	656.00	XX Lager - AL [1] V 2.00	22.02/2008 06:45:48	1	20.80	74.57%	74.57%	162.00	166.40	98.00	77.00	387.00	3.0
458	1	714.00	TKT/CB AL [1] V 2.00	23.02/2008 06:49:01	1	55.30	74.57%	63.26%	207.00	215.00	99.50	77.60	432.70	3.0
459	1	722.00	TKT/CB AL [1] V 2.00	23.02/2008 08:05:46	2	125.00	74.57%	63.26%	207.00	204.40	99.70	0.00	469.10	3.0
460	1	705.00	TKT/CB AL [1] V 2.00	23.02/2008 09:25:46	1	57.60	74.57%	63.26%	207.00	214.20	99.50	77.30	434.30	10.00
461	1	735.00	TKT/CB AL [1] V 2.00	23.02/2008 10:45:53	2	425.00	74.57%	63.26%	207.00	202.70	99.80	78.80	465.90	11.00
462	1	693.00	TKT/CB AL [1] V 2.00	23.02/2008 12:30:12	1	57.60	74.57%	63.26%	207.00	213.70	99.50	0.00	433.60	9.00
463	1	731.00	TKT/CB AL [1] V 2.00	23.02/2008 13:35:51	2	125.00	74.57%	63.26%	207.00	207.20	99.60	76.80	468.50	3.0
464	1	688.00	TKT/CB AL [1] V 2.00	23.02/2008 14:35:50	1	190.00	74.57%	63.26%	207.00	215.30	99.50	77.80	435.40	3.0
465	1	709.00	TKT/CB AL [1] V 2.00	23.02/2008 16:18:26	2	125.00	74.57%	63.26%	207.00	204.60	99.80	76.80	463.40	3.0
466	1	694.00	TKT/CB AL [1] V 2.00	23.02/2008 17:08:50	1	163.30	74.57%	63.26%	207.00	211.20	99.50	77.70	436.20	3.0
467	1	724.00	TKT/CB AL [1] V 2.00	23.02/2008 18:19:28	2	142.40	74.57%	63.26%	207.00	186.90	99.80	76.80	468.10	3.0
467	1	751.00	TKT light AL [1] V 1.00	25.02/2008 09:35:58	2	128.50	77.45%	74.57%	94.00	94.40	98.50	76.00	304.00	13.00
475	1	665.00	TKT light AL [1] V 1.00	24.02/2008 14:18:39	2	125.00	77.45%	74.57%	94.00	85.40	98.70	76.50	411.60	11.00
491	1	703.00	TKT/CB AL [1] V 2.00	25.02/2008 18:50:55	2	125.00	74.57%	63.26%	207.00	206.50	99.80	76.00	468.30	3.0
492	1	677.00	TKT/CB AL [1] V 2.00	25.02/2008 20:10:55	1	62.20	74.57%	63.26%	207.00	214.00	99.70	77.60	435.70	9.00
493	1	696.00	TKT/CB AL [1] V 2.00	25.02/2008 21:30:54	2	125.00	74.57%	63.26%	207.00	211.20	99.70	76.80	467.50	8.00

Figura 3.5 Brew Report (Botec)

Quality Map

En la tabla 3.1 se muestra el Quality Map, el cual contempla las principales variables del proceso, los medidores y si aplica estudio de R&R.

Proceso	Variable Clave	Medidor	R&R
Molienda	8. Granulometría (y)	8. Cedor	8. NA
	8.1 Apertura de rodillos cebada (x)		
	8.2 Apertura de rodillos malta (x)		
Básculas / Cocedor	9. Peso (x)	9. Báscula	9. Calibración
	9.1 Temperatura (x)	9.1 TX temp	9.1 NA
	9.2 Volumen mezclador (x)	9.2 TX flujo	9.2 NA
	9.3 Tiempo (trasiego) (x)	9.3 PLC	9.3 NA
	9.4 Tiempo de reposo (x)	9.4 PLC	9.4 NA
	9.5 Volumen tanque (y)	9.5 TX nivel	9.5 NA
	9.6 Temperatura mezclador (x)	9.6 TX temp	9.6 NA
Básculas / Macerador	9. Peso (x)	9. Báscula	9. Cía externa
	9.1 Temperatura (x)	9.1 TX temp	9.1 NA
	9.2 Volumen mezclador (x)	9.2 TX flujo	9.2 NA
	9.3 Tiempo (trasiego) (x)	9.3 PLC	9.3 NA
	9.4 Tiempo de reposo (x)	9.4 PLC	9.4 NA
	9.5 Volumen tanque (y)	9.5 TX nivel	9.5 NA
	9.6 Temperatura mezclador (x)	9.6 TX temp	9.6 NA
Lauter	10. Turbidez (y)	10. Turbidímetro	10. Calibración
	11. Extracto de masilla (y)	11. Laboratorio	11. Si aplica
	12. Volumen de agua de riego (x)	12. TX flujo	12. Calibración
	13. Volumen final (y)	13. TX Flujo	13. Calibración
	14. Temperatura agua de riego (x)	14. TX Temp	14. Calibración
	15. Grado plato primer mosto (y)	15. Sacarómetro	15. Si aplica
	16. Grado plato mosto débil (y)	16. Sacarómetro	16. Si aplica
	17. Volumen de mosto débil (y)	17. TX Flujo	17. Calibración
Tanque de mosto débil	18. Volumen del tanque (x)	18. TX nivel	18. Calibración
Tanque de espera	19. Volumen del tanque (y)	19. TX nivel	19. Calibración
	20. Temperatura (x)	20. TX Temp	20. Calibración
	21. Grado plato (y)	21. Sacarómetro	21. Si aplica
Olla de cocimiento	19. Volumen del tanque (y)	19. TX nivel	19. Calibración
	20. Temperatura (x)	20. TX Temp	20. Calibración
	21. Grado plato final (y)	21. Sacarómetro	21. Si aplica
	22. % de ebullición (x)	22. Fórmula	22. No aplica
Tanque de mosto caliente	23. Nivel del tanque (x)	23. TX Nivel	24. calibración
	24. Volumen de Trub (y)	24. No hay	
Mixer de AL	Mosto		
	25. Masa (x)	25. TX masa	25. Calibración
	26. Grado plato (x)	26. Sacarómetro	26. Si aplica
	AL		
	27. Masa (x)	27. TX masa	27. Calibración
	28. Grado plato (x)	28. Certificado de calidad	28. NA
	Agua		
	29. Volumen (x)	29. TX flujo	29. Calibración
	Mosto caliente + agua + AL		
	30. Masa (y)	30. Cálculo	30. NA
31. Grado plato (y)	31. TX grado plato	31. Calibración	
Enfriador de mosto	32. Volumen (x)	32. TX flujo	32. Calibración
	33. Grado plato (x)	33. Densímetro	33. Si aplica

Tabla 3.1 Quality Map de Cocimientos

Validación del sistema de medición

A raíz del Quality Map una de las primeras acciones que se emprendieron fue hacer un plan de calibración a todos los equipos de medición que se enlazan de manera automática con la base de datos del sistema Botec, en la cual no interviene operador alguno. Por consenso del grupo y la experiencia del mismo se decidió hacer un estudio de R&R al proceso de medición del ° plato en mosto frío, ya que este es una variable clave en el proceso de cálculo de la merma. Al ser el proceso de medición de ° plato destructivo, ya que no se pueden medir exactamente el mismo mosto siempre, se decidió hacer un estudio anidado (nested), cada cocimiento fue tratado como un batch (serie) diferente y en la prueba participaron 3 operadores, que corresponden a los 3 turnos en los que opera la planta.

Se utiliza un estudio de R&R anidado para determinar la de variabilidad en las mediciones atribuibles al sistema de medición. La variación del sistema de medición incluye tanto la variación atribuible al equipo y la variación de operador a operador.

El estudio de R&R anidado es usado para pruebas destructivas cuando los siguientes supuestos han sido cumplidos:

- Todas las partes de un solo batch son lo bastantes parecidas para ser consideradas iguales
- Los operadores toman muestras de diferentes batches. (Minitab Statguide, 2007)

Media y varianza del proceso bajo estudio

El sistema Botec permite conocer una estimación aproximada a la merma después de cada cocimiento. Esta estimación solamente corresponde a la merma generada hasta el tanque de mosto frío, que es donde termina el proceso de cocimientos, justo antes de empezar la fermentación. Se tomaron todos los datos generados del 21 al 29 de febrero, y de estos se calculó la media y varianza del proceso.

Proceso bajo control

Se procederá a realizar un gráfico I-MR (Individual/Moving Range). Esto nos permitirá ver si el proceso está bajo control. Un gráfico I-MR es para muestras individuales y se utiliza cuando:

- La medición es cara
- El proceso tiene un tiempo largo
- Una muestra representa un batch diferente

En este caso el proceso de cocimiento es largo (1 hora 45 minutos) y cada muestra representa un batch distinto.

3.3.3 Analizar

Lluvia de ideas de las "x's" posibles

Se llevó a cabo una reunión para hacer un listado de las posibles x's que estuvieran influenciando en la variable de respuesta "Y" (merma de cerveza) tomando en cuenta el Quality Map.

Priorización de las "x's" posibles

Se llevó a cabo un análisis de regresión con el objetivo de identificar o descartar todas aquellas variables que influyeran en la variable de respuesta "Y".

Planteamiento de la hipótesis

Con base al análisis de regresión y a observaciones anteriormente hechas por los operadores y dueños del proceso, se planteó la hipótesis de que uno de los trenes de cocimiento estaba dando mayor merma de otro. Si esto es cierto, se procedería a realizar un diagrama de Ishikawa que ayudará a resolver esta problemática, a estabilizar los 2 trenes y por lo tanto a reducir el índice de merma de cerveza.

Antes de realizar la prueba de diferencia de medias, se plantea la hipótesis para ver si las varianzas son iguales.

$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ vs. $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$, donde σ_1^2 es la varianza del tren uno y σ_2^2 es la varianza en el tren dos.

Una vez confirmada la hipótesis de las varianzas se plantea la hipótesis de diferencia de medias para los trenes:

$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ vs. $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$, donde μ_1 es la media del tren uno y μ_2 es la media del tren 2.

Para confirmar el cambio en la media del proceso una vez eliminada la diferencia en la media de los trenes (en caso de existir) se plantea la siguiente hipótesis:

Ho: $\mu_1 - \mu_2 = 0$ vs. H1: $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$, donde μ_1 es la media inicial del proceso antes de la aplicación del proyecto Seis Sigma y μ_2 es la media al finalizar el proyecto de Seis Sigma.

Elaboración de diagrama de Ishikawa

Una vez validada la hipótesis de que un tren genera más merma que otro, se procede a realizar un diagrama de Ishikawa. En este diagrama, el problema central es la diferencia de merma por tren. Se cita al equipo donde participan los dueños de procesos, champion, Green belt, Black Belt y los operadores del proceso. A continuación se les explica el propósito de la dinámica y empiezan a generar ideas y las escriben una a una en post-its. Cada una de las espinas de pescado se clasifica en: maquinaria, material, método, mano de obra y medio ambiente. Una vez que las ideas se han agotado de manera individual el facilitador solicita que cada quien pase y pegue sus ideas en las espinas correspondientes. Una vez que todas las ideas están pegadas se procede a eliminar todas aquellas que están repetidas, se leen todas, y si existe alguna duda, la persona que generó la idea puede ampliar la explicación para que quede claro a todo el equipo. Después se procede a votar por cada una de las causas individualmente por cada miembro del equipo, las causas se pasan a una matriz de manera priorizada, se asignan responsables, se validan las causas y en caso de aplicar se procede a hacer un plan de acción de acciones potenciales para atacar la problemática.

3.3.4 Mejorar

Terminar de desarrollar y seleccionar soluciones

Conforme el plan de acciones se vayan ejecutando se irán proponiendo nuevas soluciones potenciales que ayuden a eliminar la diferencia de merma entre los trenes, según la hipótesis planteada y al mismo tiempo disminuir la merma en elaboración.

Confirmar las mejoras

Se realizará un 2-sample t test para demostrar que la diferencia entre los trenes haya sido eliminada. También se realizará un ANOVA para comprobar que ha habido un cambio de la media de la "Y", disminuyendo su valor y confirmando de esta forma la mejora al proceso.

Confirmar las "x's" listadas

Se procederá a confirmar que las x's listadas al principio sean realmente significativas para el proceso.

3.3.5 Controlar

En esta última parte, y quizás la más importante, se documentará el proyecto para dejar evidencia en posibles auditorías y revisiones futuras al proceso, de tal forma que se pueda saber qué se hizo y qué se dejó de hacer en caso de que surgiera un problema. También se llevará a cabo una medición del desempeño actual para evaluar si este será sostenible. Una vez hecho esto se transferirá el proceso a los dueños, se identificarán oportunidades adicionales y se verificarán y aprobarán los beneficios financieros por parte del departamento administrativo.

3.4 Características de la muestra

La muestra que se utilizará para fines de este estudio es el resultado que da el sistema Botec al final de cada cocimiento, para lo cual se tomaron el 100% de los datos arrojados por el sistema en el periodo de duración del proyecto. Los datos deben seguir una distribución normal y deberán de comportarse de manera aleatoria.

3.5 Prueba de hipótesis

La prueba de hipótesis, como antes se mencionó, es que existe una diferencia de merma entre los 2 trenes de cocimiento. Por lo que la hipótesis nula planteada es que las medias de la variable "Y" merma de cerveza son iguales para los dos trenes, y la hipótesis alternativa será que son diferentes. Una vez eliminado el problema de las diferencia de merma por tren se procederá a validar los resultados, por lo que se generará un ANOVA donde la hipótesis nula será que la media del proceso no ha cambiado y la hipótesis alternativa será que la media del proceso cambió.

Con estas dos hipótesis se podrá validar y confirmar la reducción de la merma de cerveza en elaboración y por lo tanto los resultados del proyecto, que se verán en el siguiente capítulo.

3.6 Nivel de significancia

El nivel de significancia elegido para la mayoría de las pruebas es de 5%. Esto nos permite tener un muy buen nivel de confianza (95%)

4 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Introducción

El principal resultado y a la vez el más importante fue una reducción de la merma, derivado en gran parte a la aplicación de la metodología de Seis Sigma en el proceso de elaboración de cerveza. Logrando un ahorro acumulado a abril de 2008 de \$400,000 de pesos y un ahorro estimado acumulado anual de \$2, 000,000 de pesos. Estos se resultados fueron validados por el departamento administrativo, responsable de las finanzas de CCM Navojoa.

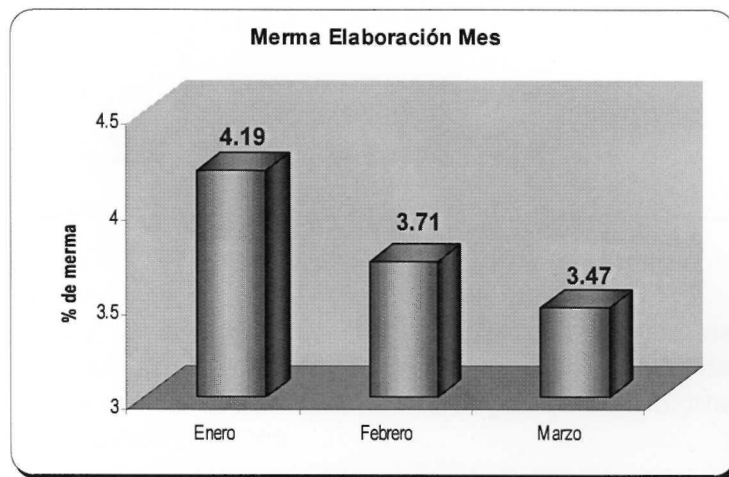


Figura 4.1 Merma Elaboración por Mes

En la figura 4.1 se puede ver con el avance en la reducción de % de merma de cerveza en elaboración ha sido considerable, reflejo de las acciones que se llevaron a cabo a través de la metodología Seis Sigma.

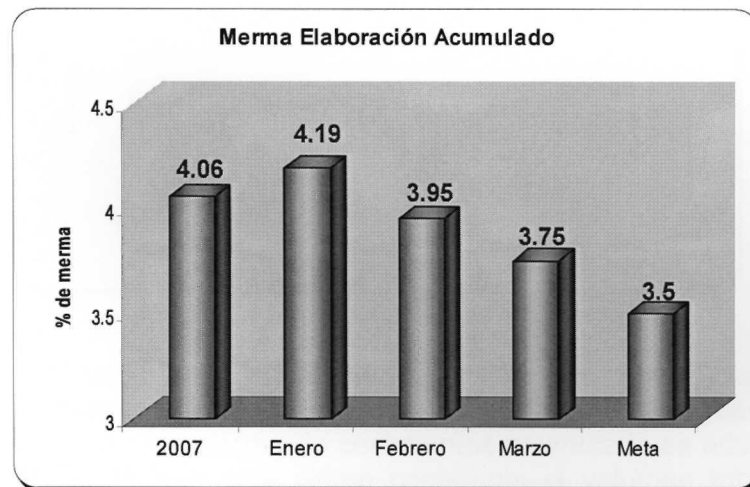


Figura 4.2 Merma Elaboración Acumulado

En esta figura 4.2 se muestra como el valor acumulado de % de merma de cerveza en el área de elaboración es de 3.75 al mes de marzo. Si los avances son sostenidos, se estará logrando cumplir con la meta anual de 3.5% de merma acumulado al cierre del año 2008, por consiguiente, los ahorros por 2 millones de pesos.

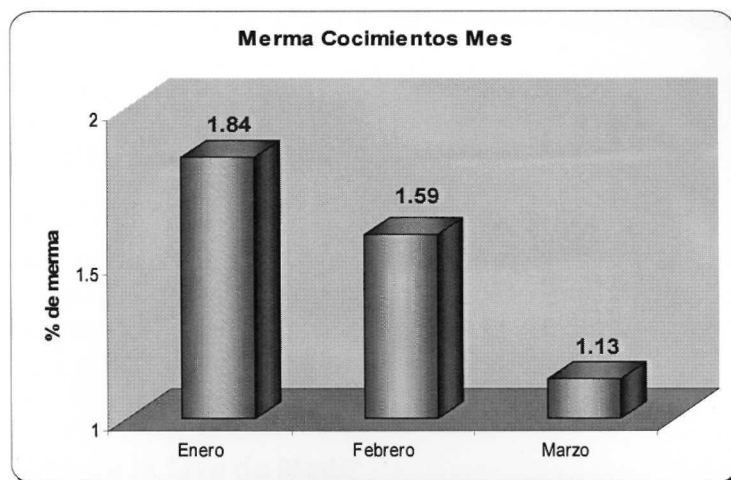


Figura 4.3 Merma Cocimientos Mes

Gran parte del desempeño en la reducción de merma de cerveza de elaboración se debe a la reducción de este índice en el área de cocimientos, que es el proceso donde se aplicó la metodología de Seis Sigma. En la figura 4.3 aparece el resultado por mes.

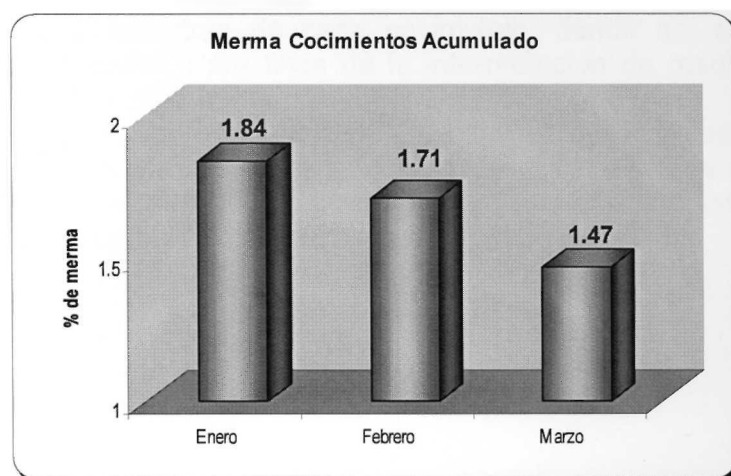


Figura 4.4 Merma Cocimientos Acumulado

La merma de cocimientos acumulado también muestra buen desempeño. Si el indicador de merma cocimientos por mes sigue la tendencia observada en la figura 4.4 el indicador de merma de cocimientos acumulado se adaptará pronto a esta tendencia, ya que este último contempla el volumen total producido

acumulado. En los meses de enero y febrero la producción es baja, por lo que el 1.84 y 1.71% pueden ser revertidos fácilmente.

En el siguiente capítulo se hace una descripción exhaustiva de cada uno de las fases del proceso que llevaron a obtener los resultados mencionados, explicando cada detalle del análisis y las mejoras implementadas durante el proyecto.

4.1 Resultados de la fase de Definir

El resultado principal de la fase Definir fue el "Project Charter" el cual aparece en la figura 3.1 (ver apéndice). También se confirmó la meta de 3.5% de merma de cerveza acumulada anual en el área de elaboración, lo que corresponde a 2 millones de pesos anuales en ahorros.

4.2 Resultados de la fase de Medir

Validación del sistema de medición

El estudio de R&R se llevó a cabo con los 3 analistas de procesos que llevan cabo las mediciones, que corresponden a los 3 turnos de producción. Se tomaron 30 muestras por operador, dando un total de 90 muestras para la prueba. Las muestras fueron obtenidas de 10 cocimientos diferentes y cada operador tomó 3 muestras de cada cocimiento, dando así el total de 30 muestras por operador. Para fines de la interpretación de resultados a cada cocimiento le llamaremos batch.

Como ya se mencionó anteriormente, se decidió hacer un estudio anidado (nested) ya que las 3 muestras que toma el operador de cada cocimiento no son propiamente la misma muestra, sino muestras diferentes de mismos batches. Los resultados de dicho estudio fueron los siguientes:

Gage R&R Study - Nested ANOVA

Gage R&R (Nested) for °P

Source	DF	SS	MS	F	P
Operador	2	0.01694	0.0084717	0.15	0.864
COCIMIENTO (Operador)	27	1.55981	0.0577709	1721.65	0.000
Repeatability	60	0.00201	0.0000336		
Total	89	1.57877			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000336	0.17
Repeatability	0.0000336	0.17
Reproducibility	0.0000000	0.00
Part-To-Part	0.0192458	99.83
Total Variation	0.0192793	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.005793	0.034756	4.17
Repeatability	0.005793	0.034756	4.17
Reproducibility	0.000000	0.000000	0.00
Part-To-Part	0.138729	0.832375	99.91
Total Variation	0.138850	0.833100	100.00

Number of Distinct Categories = 33

Tabla 4.1 Estudio de R&R ° plato

La prueba de ANOVA anidada lista las siguientes fuentes de variabilidad:

- **Operador.** Que representa la variabilidad en las mediciones entre los diferentes operadores.
- **COCIMIENTO (operador).** Que representa la variabilidad de las mediciones a través de los diferentes cocimientos por cada operador.
- **Error o repetibilidad.** Que representan la variabilidad que no puede ser atribuible ni a los cocimientos ni a los operadores.

En este caso el valor de P es grande (0.864) lo que quiere decir que el promedio de las mediciones no es probable que dependa de la forma en la cual el operador mide, con un nivel de significancia del 5%.

En la columna de "% Contribution (of Varcomp) podemos ver que el 99.83% de la variabilidad se encuentra de cocimiento a cocimiento, lo que es algo muy bueno, ya que esto nos dice que el operador no influye en el resultado final de las mediciones.

También el estudio distingue 33 categorías, lo que nos dice que el sistema es adecuado para las mediciones que estamos tomando.

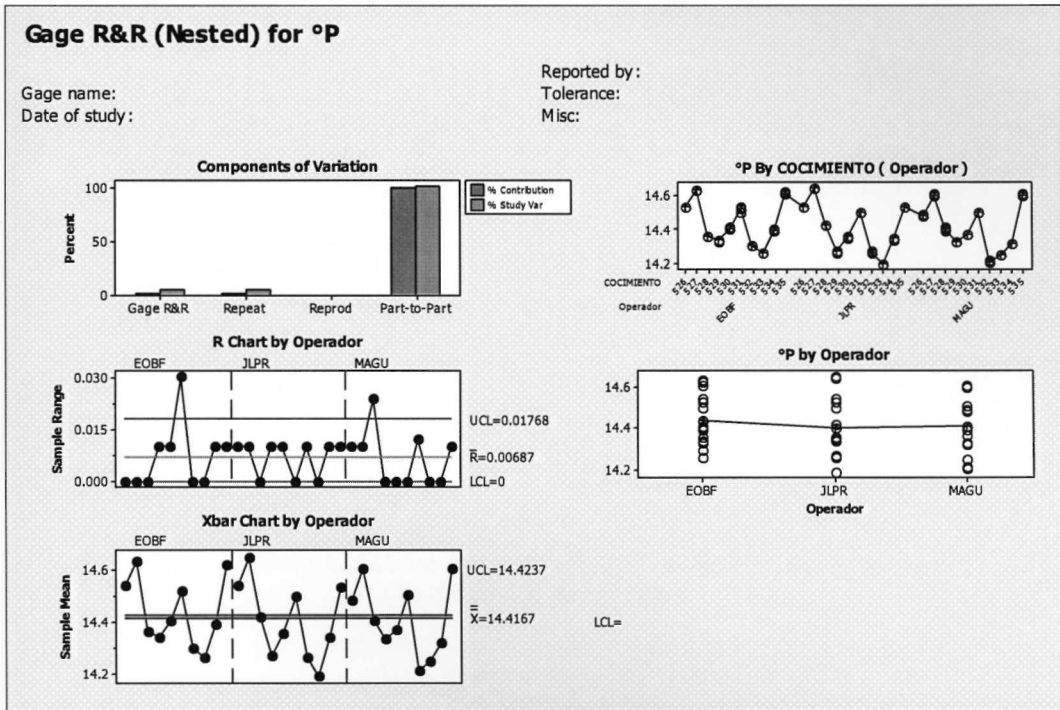


Figura 4.5 Estudio de R&R anidado

En la figura 4.5 se confirma los comentarios de la sección anterior. En la gráfica de "Components of Variation" de la misma figura se puede apreciar que el porcentaje mayor de contribución en la variabilidad del estudio se encuentra en "part to part" es decir, de cocimiento a cocimiento. Lo que nos habla de la buena precisión del sistema de medición.

Media y varianza del proceso bajo estudio

Los resultados en la medición de la media y la varianza fueron los siguientes:

Descriptive Statistics: Merma "Y"						
Variable	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
Merma "Y"	0.020364	0.000925	0.006274	0.007639	0.014986	0.020842
	0.024433					
Variable	Maximum					
Merma "Y"	0.032330					

Tabla 4.2 Estadística descriptiva en merma "Y"

El proceso presenta una media de 2.03% de merma en el área de cocimientos, con una desviación estándar de 0.627%.

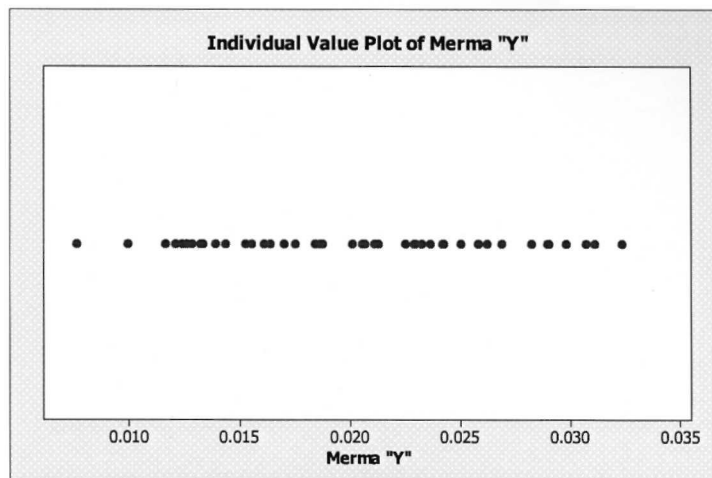


Figura 4.6 Individual Value Plot de Merma "Y" muestra de manera gráfica la dispersión de los datos

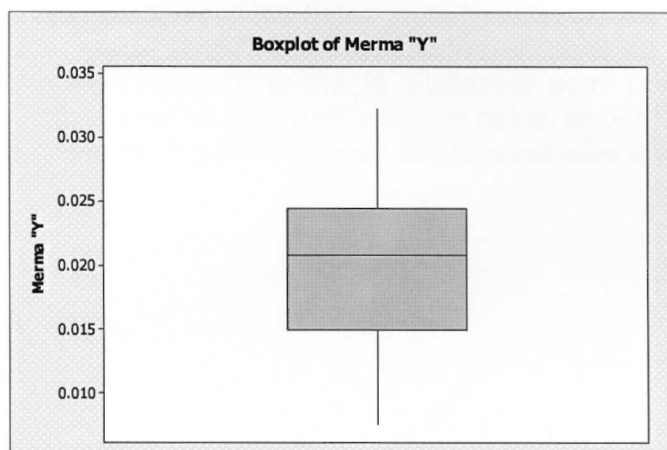


Figura 4.7 Boxplot de Merma "Y" muestra la dispersión de los datos, así como la mediana y los cuartiles

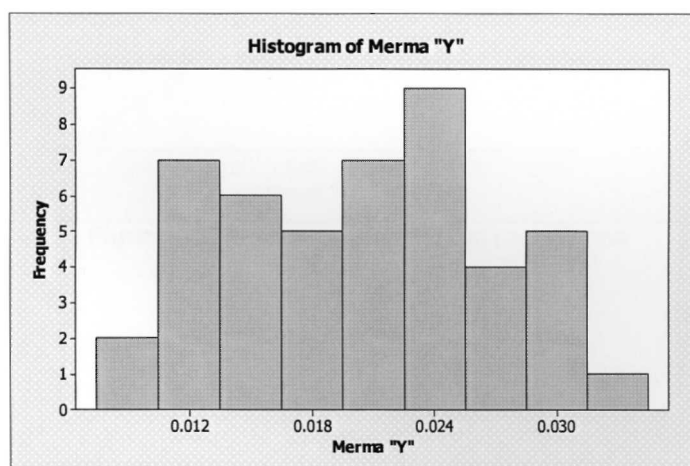


Figura 4.8 Histograma de Merma "Y" muestra la frecuencia de los datos

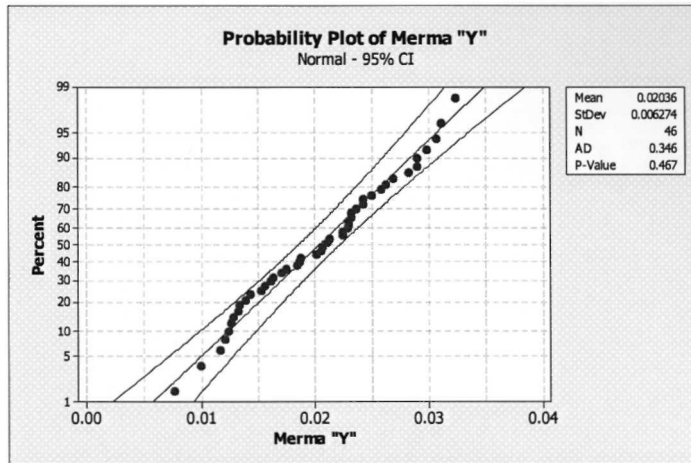


Figura 4.9 Gráfica de probabilidad

La figura 4.9 muestra como los datos siguen un patrón de distribución normal, ya que ninguno de los puntos sale fuera de los límites. Se llevó a cabo la prueba de normalidad de Anderson-Darling, con un nivel de significancia del 5%, para ver si los datos muestreados siguen una distribución normal. El valor P es de 0.467, como utilizamos un nivel de significancia de 0.05 esto quiere decir que no existe la evidencia para poder rechazar la hipótesis nula, con lo que se concluye que los datos siguen una distribución normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov arrojó resultados similares.

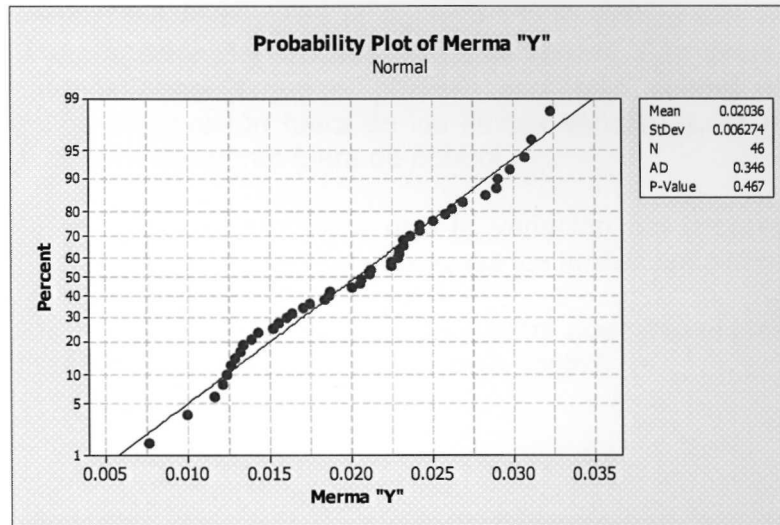


Figura 4.10 Gráfica de probabilidad para Merma

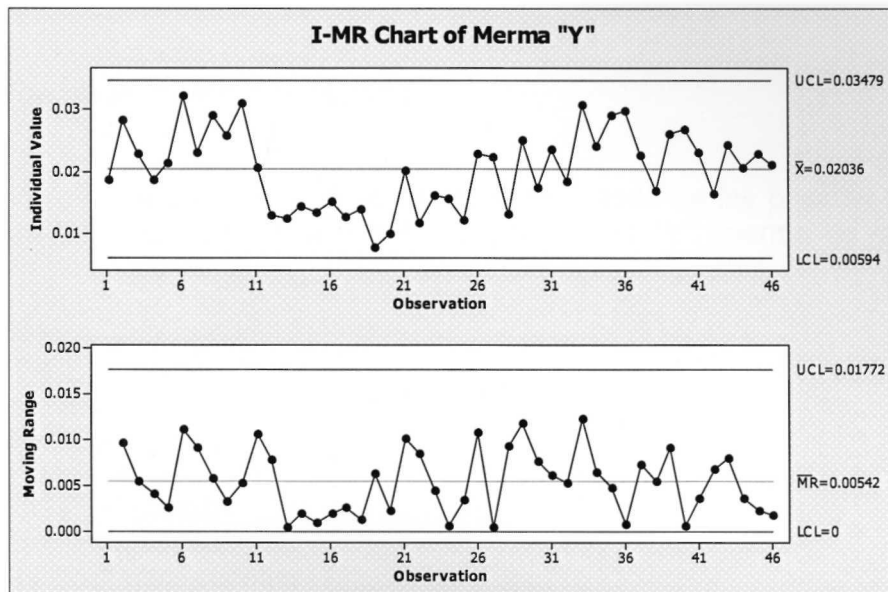


Figura 4.11 Gráfico I-MR

Los gráficos tipo I-MR sirven para ver si un proceso está bajo control y a diferencia de los gráfico X y R, son para muestras individuales. La decisión se tomó pues el proceso de cocimientos es largo (1hora 45 minutos) y sólo se tiene un dato al finalizar este, y cada cocimiento representa un batch diferente.

El diagrama individual (I) nos muestra que el promedio de las observaciones está en control como lo muestra la figura 4.11. El gráfico MR (Figura 4.11) muestra que la variación del proceso está bajo control. Con estas dos gráfica entones podemos concluir que el proceso está bajo control. En caso de presentarse una observación fuera de los límites señalados, se procedería a investigar las causas del punto fuera de control.

El diagrama MR nos demuestra que la variación del proceso está bajo control, ya que ninguna observación sobrepasa los límites señalados.

En conclusión, el diagrama I-MR nos demuestra que tanto el promedio como la variación del proceso bajo estudio están bajo control.

4.3 Resultados de la fase de Analizar

Lluvia de ideas de las “x’s” posibles

Se llevó a cabo una reunión para hacer un listado de las posibles x’s que estuviera influenciando en la variable de respuesta “Y” (merma de cerveza) tomando en cuenta el Quality Map. El resultado fue el siguiente:

- Marca
- Tren
- Almidón
- Rendimiento malta
- Rendimiento cebada
- Colchón cocedor
- Volumen cocedor
- Temperatura cocedor
- Final cocedor
- Volumen cocedor 1
- Colchón extractor
- Agua de riego extractor
- Trub extractor
- Mosto débil extractor
- Volumen de tanque de espera
- Temperatura tanque de espera
- Volumen inicial olla
- ° plato final
- Volumen final olla
- Volumen mosto caliente
- Extracto real mosto caliente
- ° plato AL
- Laboratorio ° plato

Priorización de las “x’s” posibles

Se llevó a cabo un análisis de regresión con el objetivo de identificar o descartar todas aquellas variables que influyeran en la variable de respuesta “Y”. El resultado es el siguiente:

Regression Analysis: Merma "Y" versus Cocto, AL, ...

The regression equation is

$$\text{Merma "Y"} = 1.86 + 0.000005 \text{ Cocto} - 0.0233 \text{ AL} + 0.000001 \text{ MF Vol} - 0.00858 \text{ Tren}$$

$$- 0.000011 \text{ Almidon} - 4.13 \text{ Rend Malta} + 1.55 \text{ Rend cebada} - 0.000307 \text{ Colchon Coce} - 0.000005 \text{ Vol Coce} + 0.000143 \text{ Temp}$$

Coce

$$- 0.000004 \text{ Final Macerador} + 0.000054 \text{ Vol Coce}_1 + 0.000006 \text{ Vol ini olla} + 0.00397 \text{ }^\circ \text{ plato Final} + 0.000028 \text{ Vol final olla} + 0.000105 \text{ Vol mosto cal} - 0.000007 \text{ Extracto Ideal} + 0.000020 \text{ }^\circ \text{ plato AL} - 0.00152$$

Lab. ° plato

$$+ 0.0870 \text{ Marca}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	1.857	1.209	1.54	0.131	
Cocto	0.00000504	0.00001187	0.42	0.673	2.203
AL	-0.02326	0.01674	-1.39	0.171	635.645
MF Vol	0.00000087	0.00002581	0.03	0.973	7.113
Tren	-0.008581	0.001833	-4.68	0.000	9.752
Almidon	-0.00001089	0.00000716	-1.52	0.135	2618.543
Rend Malta	-4.130	3.336	-1.24	0.222	26865.033
Rend cebada	1.551	1.590	0.98	0.334	90207.593
Colchon Coce	-0.0003075	0.0002168	-1.42	0.163	2546.230
Vol Coce	-0.00000496	0.00003159	-0.16	0.876	38.095
Temp Coce	0.0001425	0.0001009	1.41	0.164	16.801
Final Macerador	-0.00000419	0.00001710	-0.25	0.807	1.366
Vol Coce_1	0.00005375	0.00004020	1.34	0.188	101.048
Vol ini olla	0.00000571	0.00000662	0.86	0.392	3.008
° plato Final	0.003965	0.007399	0.54	0.595	2833.353
Vol final olla	0.00002789	0.00005158	0.54	0.591	248.193
Vol mosto cal	0.0001053	0.0001472	0.72	0.478	2181.670
Extracto Ideal	-0.00000670	0.00001156	-0.58	0.565	6363.357
° plato AL	0.00002043	0.00005014	0.41	0.686	34.348
Lab. ° plato	-0.001517	0.001131	-1.34	0.186	25.990
Marca	0.08704	0.09086	0.96	0.343	42591.638

S = 0.00241606 R-Sq = 89.2% R-Sq(adj) = 84.6%

PRESS = * R-Sq(pred) = **

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	20	0.00226084	0.00011304	19.37	0.000
Residual Error	47	0.00027435	0.00000584		
Total	67	0.00253519			

Tabla 4.3 Análisis de regresión

La tabla 4.3 muestra el análisis de regresión hecho sobre las variables x's que inciden sobre la variable de respuesta "Y" (merma de cerveza). La variable más significativa fue el "tren". Esto confirma las sospechas de los dueños del proceso y los operadores. Dentro del modelo existen algunas variables que presentan un Factor de Influencia de la Variación (VIF) alto, lo que sugiere que hay relación dependiente entre las variables presentes en el modelo. Posteriormente se retirarán del modelo aquellas que presenten un VIF alto y se

trabajaré sobre la variable “tren”, ya que en teoría ambos trenes deberían estar dando la misma merma, al ser ambos procesos espejo. El modelo muestra una R-cuadrada de 89.2% lo que quiere decir que el modelo explica la mayor parte de la variación. La R-cuadrada ajustada es de 84.6%, lo cual es aceptable, por lo tanto el modelo es bueno prediciendo valores futuros. El análisis de varianza muestra un valor P de 0.000, lo cual lo hace significativo. Esto quiere decir que por lo menos una variable dentro del modelo es significativa.

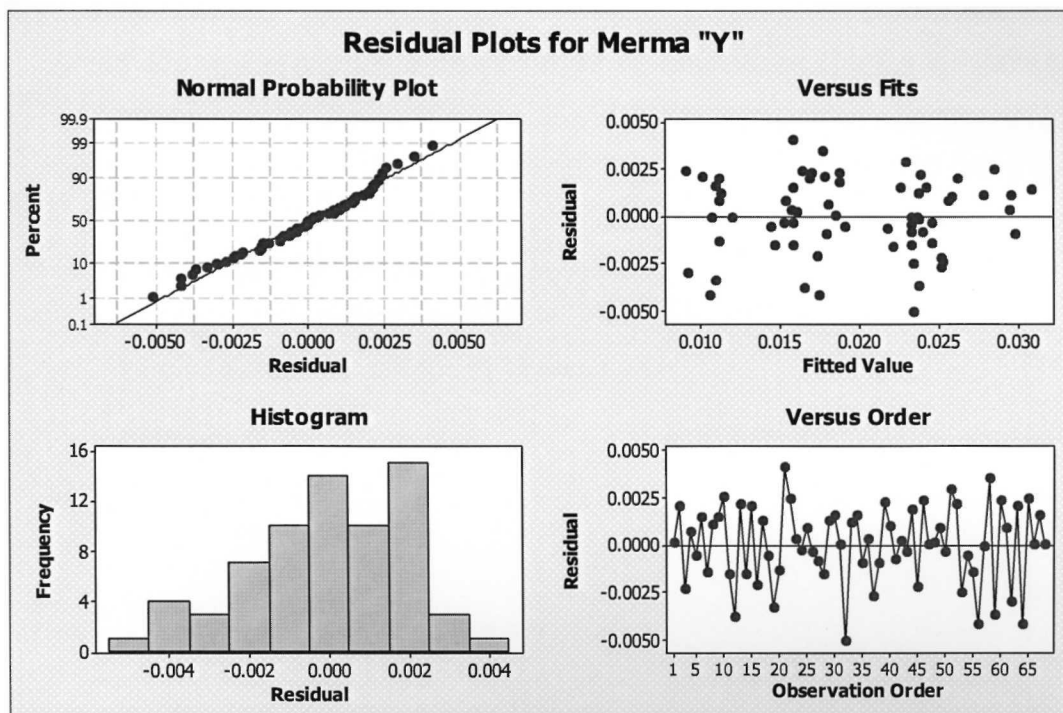


Figura 4.12 Gráfica de residuales para merma “Y”

En la figura 4.12 se muestran las gráficas de residuales. La gráfica normal de probabilidad indica que los datos se comportan de manera normal. La gráfica “versus fits” valida el supuesto de que la varianza es constante y que no existe una relación no lineal con los datos. El histograma no muestra que los datos se carguen hacia algún lado y por último la gráfica “versus order” muestra que los datos no evidencian un patrón respecto al tiempo o al orden de recolección de los datos.

En resumen estas gráficas no muestran problema alguno que impida continuar con la investigación.

Planteamiento de la hipótesis

Con base al análisis de regresión y a observaciones anteriormente hechas por los operadores y dueños del proceso, se planteó la hipótesis de que uno de los trenes de cocimiento estaba dando mayor merma de otro. Si esto es cierto, se procedería a realizar un diagrama de Ishikawa que ayudará a resolver esta problemática, a estabilizar los 2 trenes y por lo tanto a reducir el índice de merma de cerveza.

Antes de realizar la prueba de diferencia de medias, se plantea la hipótesis para ver si las varianzas son iguales.

Ho: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ vs. H1: $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$, donde σ_1^2 es la varianza del tren uno y σ_2^2 es la varianza en el tren dos.

El resultado fue el siguiente:

Test for Equal Variances: Merma "Y" versus Tren				
95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Tren	N	Lower	StDev	Upper
1	36	0.0043147	0.0054755	0.0074369
2	32	0.0039890	0.0051292	0.0071221
F-Test (Normal Distribution)				
Test statistic = 1.14, p-value = 0.716				
Levene's Test (Any Continuous Distribution)				
Test statistic = 0.00, p-value = 0.982				

Tabla 4.4 Prueba de varianza para tren 1 vs. Tren 2

La prueba F para la distribución normal muestra un valor p de 0.716, lo que quiere decir que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, por lo que se concluye que las varianzas de las dos muestras son iguales. La prueba de Levene para cualquier distribución continua demuestra un resultado similar.

La gráfica de la figura 4.13 muestra los mismos resultados

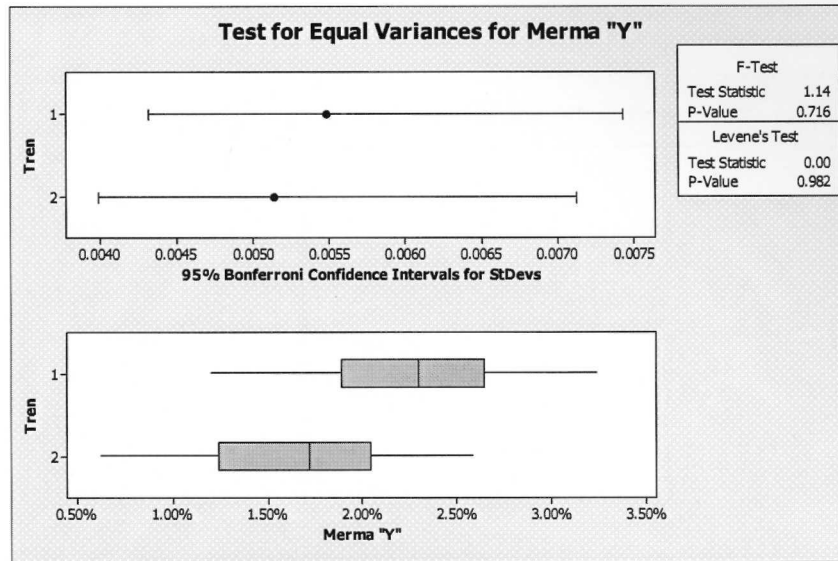


Figura 4.13 Prueba para varianzas iguales para "Y"

Una vez confirmada la hipótesis de las varianzas se plantea la hipótesis de diferencia de medias asumiendo varianzas iguales.

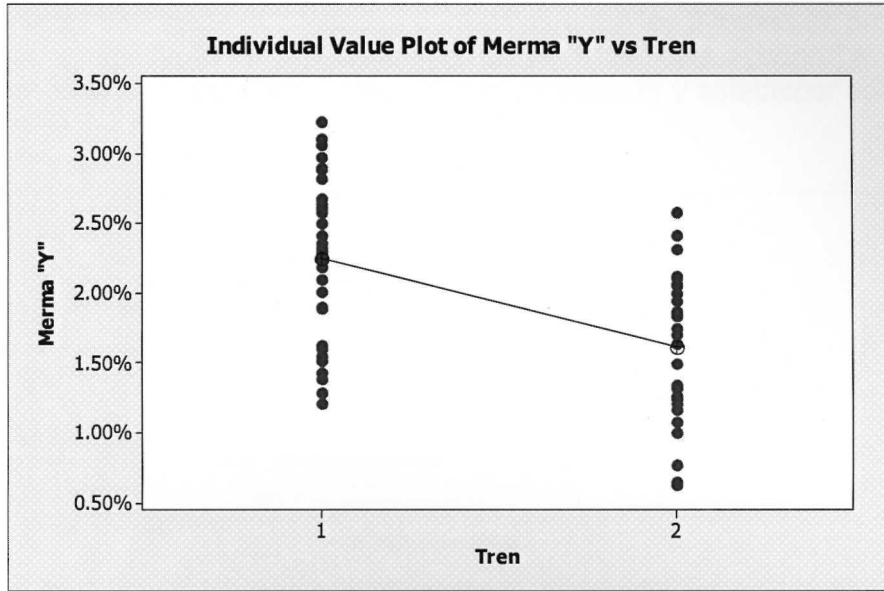
$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ vs. $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$, donde μ_1 es la media del tren uno y μ_2 es la media del tren 2.

Se llevó a cabo una prueba t de 2 muestras (two-sample t test) que es un ANOVA con dos variables, obteniendo los siguientes resultados:

Two-Sample T-Test and CI: Merma "Y", Tren					
Two-sample T for Merma "Y"					
Tren	N	Mean	StDev	SE Mean	
1	36	0.02248	0.00548	0.00091	
2	32	0.01619	0.00513	0.00091	
Difference = mu (1) - mu (2)					
Estimate for difference: 0.00629					
95% CI for difference: (0.00371, 0.00887)					
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 4.87 P-Value = 0.000 DF = 66					
Both use Pooled StDev = 0.0053					

Tabla 4.5 Two-sample T-Test para "Y"

Se obtiene un valor de P de 0.000, con lo que se tiene evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula y afirmar que ambas medias son diferentes.



La figura 4.14 La gráfica de valor individual para merma muestra una diferencia visual entre las medias de los dos trenes.

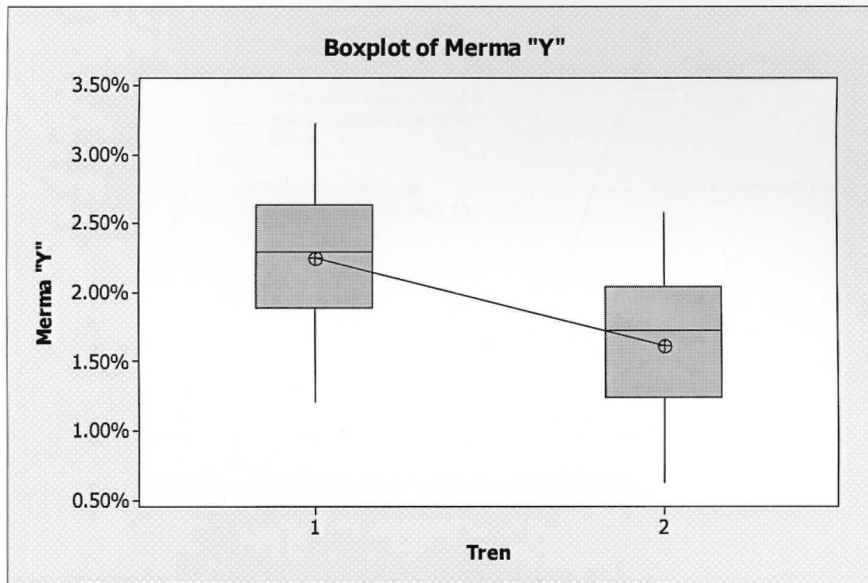


Figura 4.15 Muestra el boxplot para la variable "Y" merma. Visualmente se aprecia una diferencia entre trenes.

Elaboración de diagrama de Ishikawa

Una vez confirmada la diferencia de medias entre los 2 trenes se procedió a reunir al equipo y forma un diagrama de Ishikawa que ayudará a generar posibles causas de esta diferencia, validar las mismas y establecer soluciones potenciales.

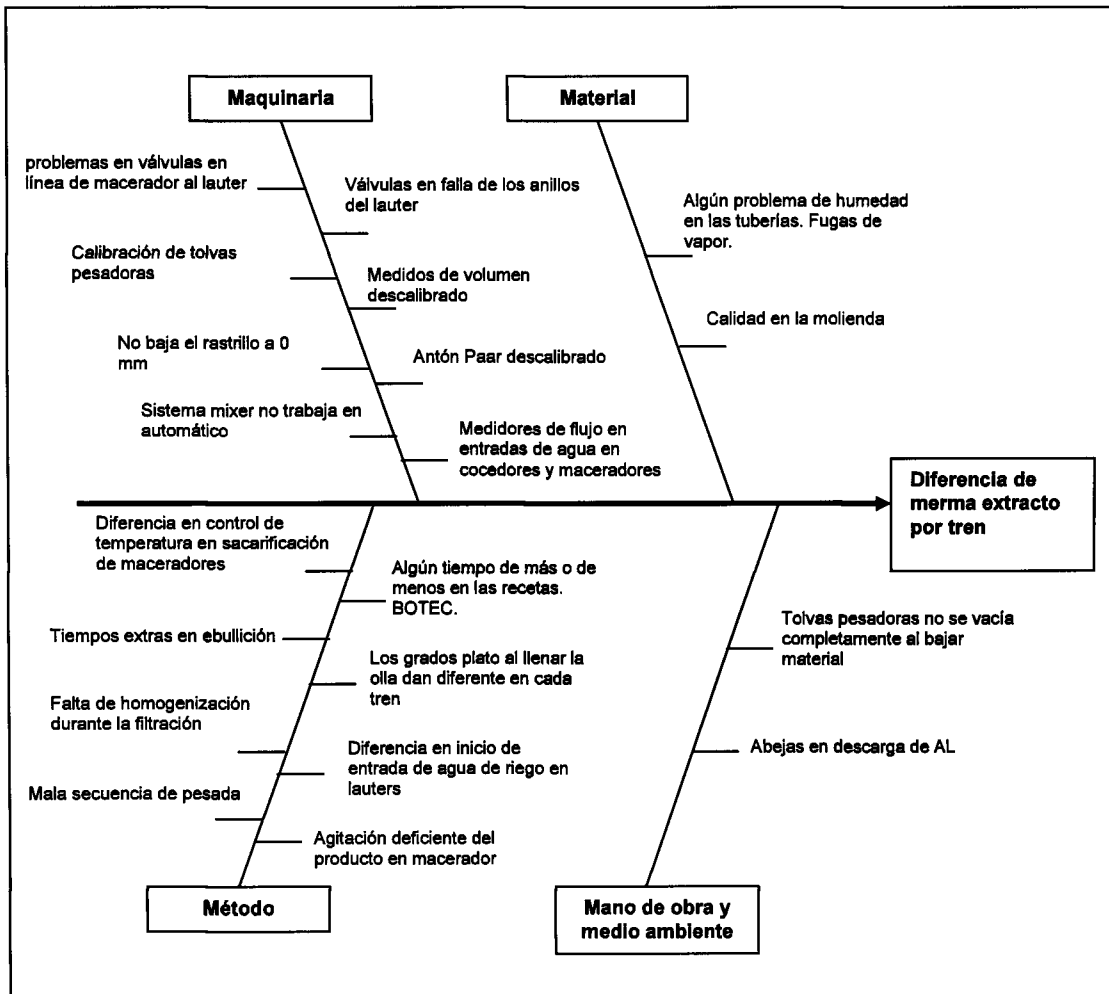


Figura 4.16 Diagrama de Ishikawa

Elaboración del plan de validación y soluciones potenciales

A raíz del diagrama de Ishikawa se aplicó la técnica del voto individual para poder priorizar las causas más reales y de mayor impacto. Una vez hecho esto se elaboró una matriz con las causas priorizadas, su validación y acciones potenciales.

Rank	Idea	Validación	Plan de acción	Responsable	Avance
11	Problemas en válvula en línea de macerador al lauter, derrame a drenaje	Causa validada. Se tenía problema en válvula del lauter, una pieza impedía el cierre, estaba quedando la línea cargada y se enviaba a drenaje en uno de los pasos del programa	Eliminar el problema de la válvula de lauter	Rene Cazarez	100%
10	Medidores de volumen en equipos descalibrados	Causa validada. Los medidores están descalibrados	Calibrar medidores de flujo de lauters, medidores de presión, tanques de espera, ollas de cocimientos y maceradores.	Ramon Robles	100%
10	Mala secuencia de pesada	Causa probada. Se cuenta con mala secuencia de pesada	Elaborar matriz y programarla en receta	Ramon Zarate	100%
9	Agitación deficiente del producto en macerador	Causa validada. La homogenización es insuficiente por mezcla deficiente con agua durante la bajada del material al macerador.	Elaborar LSP para arranque de cocimientos	Julio Almaguer	100%
		Segunda acción -->	Aumentar la cantidad de agua al bajar la materia prima en el macerador	Juan Rivera	100%
9	Falta de homogenización durante la filtración	Causa validada.	Verificar extracto en masilla en diferentes zonas del lauter vs. Anillos de lauter	Juan Rivera	100%
7	Calibración de tolvas pesadoras	Causa validada. Si hay diferencias en la calibración de las tolvas.	Calibrar tolvas pesadoras	Ramon Zarate	100%
7	Diferencia en inicio entrada de agua en riego Lauters	Causa validada, no aplica. El agua de riego inicia al mismo tiempo en ambos lauters			
7	Tiempos extras en ebullición	Causa validada.	Hacer un comparativo de % de evaporación y grado plato de ambos trenes y realizar ajustes	Joseba Aguirre	100%
7	Válvulas en falla de los anillos del Lauter	Causa validada. Si es una falla que afecta el proceso	Elaborar registro de eventos y reportarla a mantenimiento para su reparación	Juan Rivera	100%
5	Al estar filtrando extractores no baja el rastrillo a 0 mm cuando se le pide por programa	Lauter 2 presentaba diferencias en los rastrillos	Corregir la falla	Juan Rivera	100%
4	Descalibración del Anton Paar	Causa validada. Equipo Anton Paar descalibrado	Calibrar equipo	Julio Almaguer	100%
4	Tolvas pesadoras no se vacían completamente al bajar material	Causa validada. Las tolvas no se vacían completamente.	Corregir la falla	Juan Rivera	100%
4	Diferencias en control de temperatura sacarificación maceradores	Causa validada. Si existe diferencia en el control de temperatura	Sustitución de termómetros	Ramon Robles	100%
3	Algún tiempo de más o de menos en las recetas. BOTE C	Causa validada, no aplica.			
3	Sistema mixer no trabaja en automático	Causa validada, no aplica.			
3	Medidores de flujos en entradas de agua en ambos trenes en cocedores y maceradores	Causa validada, no aplica.			
3	No se vacían completamente los furgones de AL	Causa validada. No se vacían completamente.	Por el lado de AL darle mas temperatura al furgón, le estamos dando 45° que quede en 55° para ver como y si da mejor el escurrido que le queda en las paredes	Juan Rivera	100%
2	Algún problema de humedad en las tuberías. Fuga de vapor.	Causa validada, no aplica.			
1	Abejas en descarga de AL	Causa validada. Los operadores no llevan a cabo su trabajo de manera cuidadosa por estarse cuidando de las abejas	Eliminar panales de planta y periferia con ECOLAB	Edna Rodriguez	
1	Calidad en la molienda	Causa validada, no aplica.			

Tabla 4.6 Plan de validación y soluciones potenciales.

4.4 Resultados de la fase de Mejorar

Terminar de desarrollar y seleccionar soluciones

En esta parte se terminaron de validar las causas generadas en el Ishikawa inicial así como la ejecución de las soluciones para atacar dichas causas.

Confirmar las mejoras

Se realizará un análisis de regresión para demostrar que la variable "Tren" dejó de ser significativa para el modelo. También se llevará a cabo un two-sample T-test para demostrar que la diferencia entre los trenes haya sido eliminada. También se realizará un ANOVA para comprobar que ha habido un cambio de la media de la "Y", disminuyendo su valor y confirmando de esta forma la mejora al proceso.

Análisis de regresión

Se realizó un nuevo análisis de regresión y el resultado es el siguiente:

Regression Analysis: Merma "Y"_1 versus Tren, Almidon, ...						
The regression equation is						
Merma "Y"_1 = 0.0300 + 0.000149 Tren + 0.000001 Almidon						
+ 0.000008 Vol final olla - 0.00104 Lab. ° plato - 0.00344						
Marca						
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF	
Constant	0.029958	0.002733	10.96	0.000		
Tren	0.0001486	0.0002942	0.51	0.615	1.016	
Almidon	0.00000089	0.00000013	7.09	0.000	1.576	
Vol final olla	0.00000836	0.00000279	3.00	0.003	1.111	
Lab. ° plato	-0.0010427	0.0001594	-6.54	0.000	1.918	
Marca	-0.0034382	0.0002568	-13.39	0.000	1.385	
S = 0.00148578 R-Sq = 88.4% R-Sq(adj) = 87.9%						
PRESS = 0.000244845 R-Sq(pred) = 86.92%						
Analysis of Variance						
Source	DF	SS	MS	F	P	
Regression	5	0.00165625	0.00033125	150.05	0.000	
Residual Error	98	0.00021634	0.00000221			
Total	103	0.00187259				

Tabla 4.7 Análisis de regresión

En el análisis de regresión mostrado en la tabla 4.6 se puede observar como la variable "Tren" ya no es significativa. Las otras variables significativas son: almidón, volumen final de olla, ° plato del laboratorio y marcas.

Two-sample T-Test

Para confirmar el resultado de la regresión se realizó un two-sample t-test para comprobar que la diferencia en merma por tren haya sido eliminada.

Se plantea la siguiente hipótesis:

Ho: $\mu_1 - \mu_2 = 0$ vs. H1: $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$, donde μ_1 es la media del tren uno y μ_2 es la media del tren 2.

Two-Sample T-Test and CI: Merma "Y"_1, Tren					
Two-sample T for Merma "Y"_1					
Tren	N	Mean	StDev	SE Mean	
1	49	0.01142	0.00432	0.00062	
2	55	0.01104	0.00424	0.00057	
Difference = mu (1) - mu (2)					
Estimate for difference: 0.000383					
95% CI for difference: (-0.001284, 0.002051)					
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.46 P-Value = 0.649 DF = 102					
Both use Pooled StDev = 0.0043					

Tabla 4.8 Two-sample T-Test para merma por tren

El valor de P es de 0.649, con lo que se concluye que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, por lo que la diferencia de medias es cero.

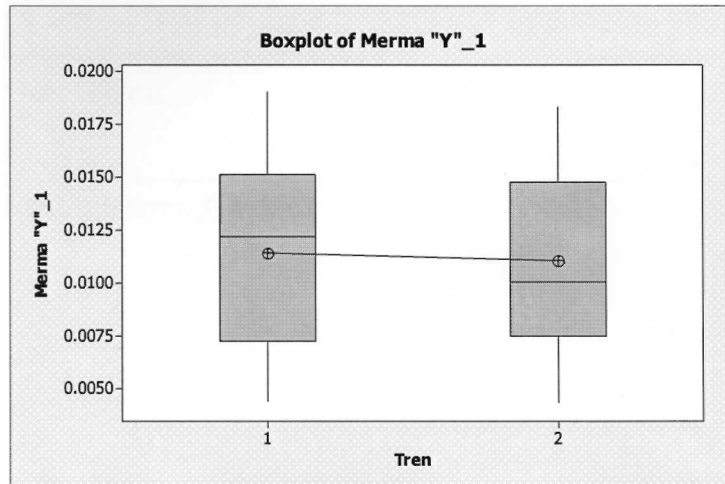


Figura 4.17 Box plot de trenes muestra de manera visual que la diferencia en medias a desaparecido

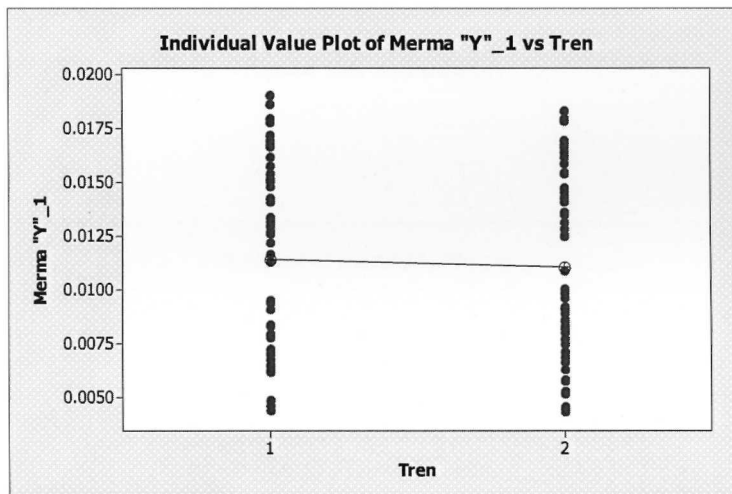


Figura 4.18 Individual value plot merma vs. Tren muestra que la diferencia de merma entre trenes ha desaparecido.

ANOVA para cambio en la media

Se llevó a cabo una ANOVA para comprobar el cambio en la media de la variable "Y" merma de cerveza. Se plantea la siguiente hipótesis:

Ho: $\mu_1 - \mu_2 = 0$ vs. H1: $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$, donde μ_1 es la media inicial del proceso antes de la aplicación del proyecto Seis Sigma y μ_2 es la media al finalizar el proyecto de Seis Sigma.

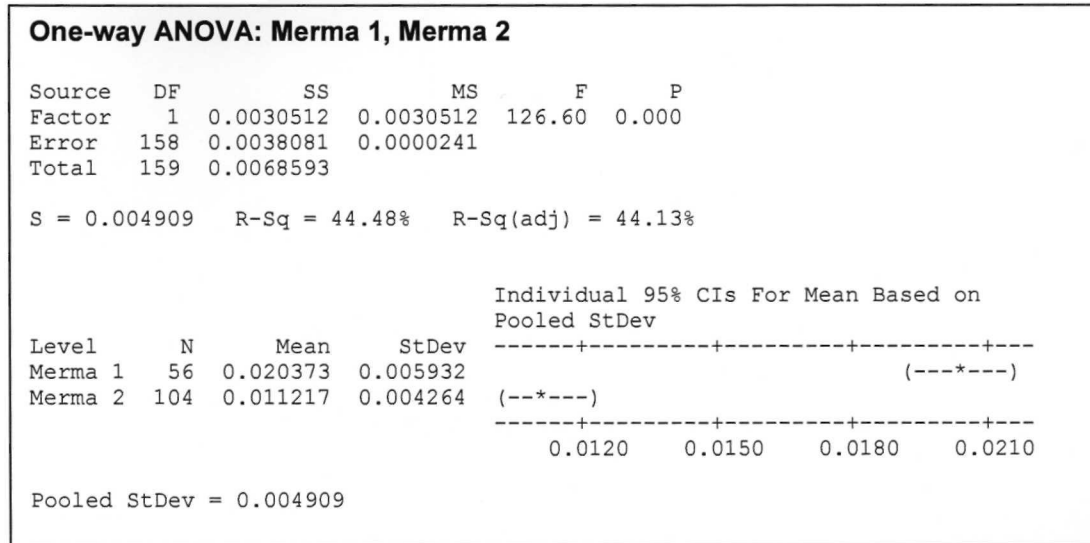


Tabla 4.9 ANOVA en merma 1 vs. merma 2

La tabla 4.9 no muestra un valor P de 0.000 lo que nos lleva a rechazar la hipótesis nula y concluir que ha habido un cambio en la media de 2.03% a 1.12% por concepto de merma cerveza en el área de cocimientos, de esta forma queda evidenciada la mejora del indicador.

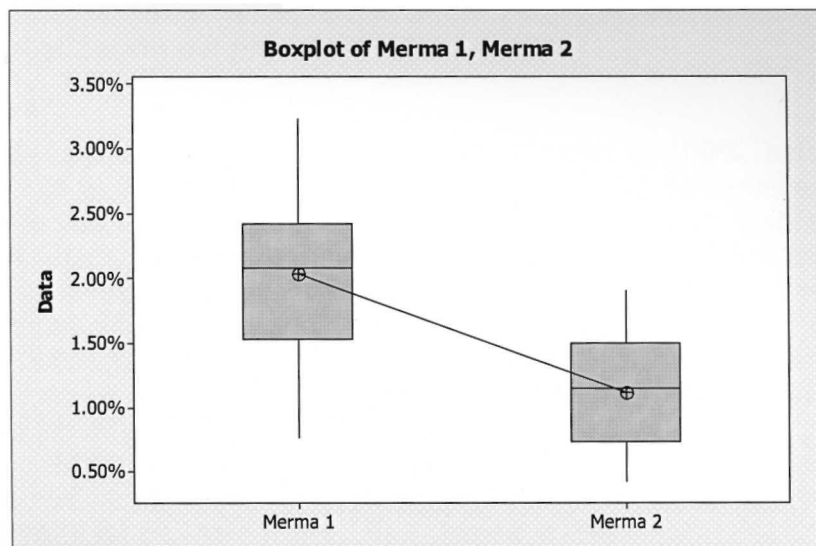


Figura 4.19 El boxplot muestra de manera visual el cambio de la mediana en el proceso, lo cual muestra la mejora en el indicador

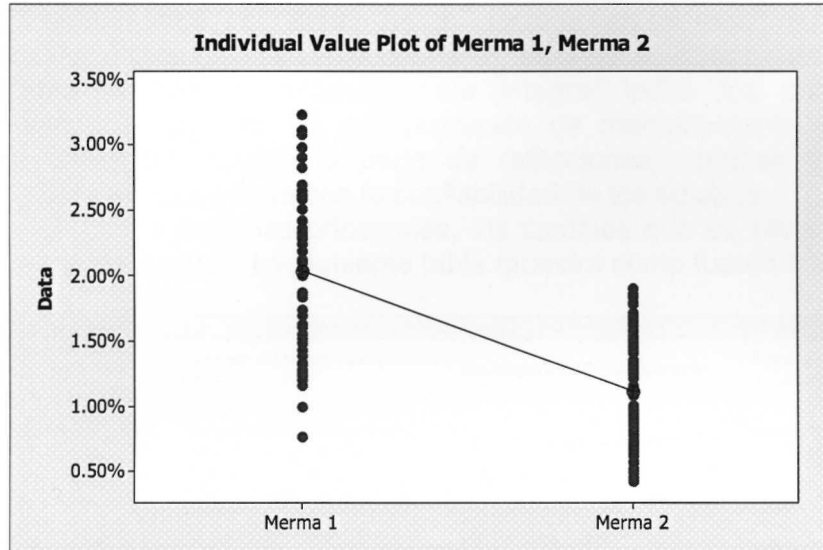


Figura 4.20 El individual value plot muestra la mejora en el indicador de merma de cerveza al inicio del proyecto y al final del mismo.

Confirmar las "x's" listadas

Mediante el nuevo análisis de regresión efectuado se concluye que la diferencia de merma por tren ya no es significativa. También se confirman las variables almidón, volumen final de olla, ° plato del laboratorio y marcas.

4.5 Resultados de la fase de Controlar

Institucionalización del proceso

Las soluciones potenciales fueron implementadas al 100%, esto ocasionó no solamente el mejoramiento en el indicador de merma de cerveza en el área de cocimientos, sino también en el proceso global de elaboración. Lo resultados fueron validados por parte del departamento de administrativo.

Las soluciones fueron integradas al "trabajo diario" mediante alineación con los sistemas ya existentes en CCM. Los principales de estos son ISO, MAD, Botec y SAP. CCM Planta Navojoa está certificada bajo la norma ISO 9001-2000, el cual es un sistema de gestión de calidad internacional en el cual se tienen documentados todos los procesos claves de la empresa. MAD es el Sistema de Mantenimiento de Alto Desempeño; está basado en la filosofía de Total Productive Maintenance (TPM) y su principal objetivo es asegurar la confiabilidad total de los equipos. El Botec es un sistema de información que maneja y controla todo el proceso de elaboración, desde materia prima hasta salas frías. Este sistema es el "cerebro" que controla todos los equipos electrónicos de dicho proceso y a la vez contiene las recetas para la elaboración de cada una de las marcas, por lo que si algún cambio es

necesario estandarizar, el Botec es el sistema en el cual debe quedar registrado. Por último CCM cuenta con SAP; este es un sistema de tipo MRP que funciona de manera modular para integrar todos los procesos de administración de negocio. La administración de mantenimiento se lleva a través de SAP, que integra la parte de refacciones, ordenes de trabajo, compras y todo lo relacionado con la confiabilidad de los equipos.

Siendo estos los sistemas principales, los cambios que se llevaron a cabo fueron integrados a estos. La siguiente tabla muestra como fueron integrados.

Causa	Plan de acción	Estandarización	Responsable	Avance
Problemas en válvula en línea de macerador al lauter, derrame a drenaje	Eliminar el problema de la válvula de lauter	Se integra a SAP mantenimiento	Ruben Alejandro Aldama	100%
Medidores de volumen en equipos descalibrados	Calibrar medidores de flujo de lauters, medidores de presión, tanques de espera, ollas de cocimientos y maceradores.	Se integra a SAP mantenimiento	Ruben Alejandro Aldama	100%
Mala secuencia de pesada	Elaborar matriz y programarla en receta	Se integra al BOTEC	Ramon Zarate	100%
Agitación deficiente del producto en macerador	Elaborar LSP para arranque de cocimientos	Se elabora Lección de un Solo Punto y se integra al MAD	Julio Almaguer	100%
	Aumentar la cantidad de agua al bajar la materia prima en el macerador	Se integra al BOTEC	Ramon Zarate	100%
Falta de homogenización durante la filtración	Verificar extracto en masilla en diferentes zonas del lauter vs. Anillos de lauter	Se integra a ISO	Juan Rivera	100%
Calibración de tolvas pesadoras	Calibrar tolvas pesadoras	Se integra a SAP mantenimiento	Ruben Alejandro Aldama	100%
Válvulas en falla de los anillos del Lauter	Elaborar registro de eventos y reportarla a mantenimiento para su reparación	Se integra a SAP mantenimiento	Ruben Alejandro Aldama	100%
Al estar filtrando extractores no baja el rastrillo a 0 mm cuando se le pide por programa	Corregir la falla	Se integra a SAP mantenimiento	Ruben Alejandro Aldama	100%
Descalibración del Anton Paar	Calibrar equipo	Se integra a SAP mantenimiento	Ruben Alejandro Aldama	100%
Tolvas pesadoras no se vacían completamente al bajar material	Corregir la falla	Se integra a ISO	Juan Rivera	100%
Diferencias en control de temperatura sacarificación maceradores	Sustitución de termómetros	Se integra a SAP mantenimiento	Ruben Alejandro Aldama	100%
No se vacían completamente los furgones de AL	Por el lado de AL darle mas temperatura al furgón, le estamos dando 45° que quede en 55° para ver como y si da mejor el escurrido que le queda en las paredes	Se integra a ISO	Juan Rivera	100%
Abejas en descarga de AL	Eliminar panales de planta y periferia con ECOLAB	Se integra a ISO	Edna Rodriguez	100%

Tabla 4.9 Institucionalización del proceso

Estandarización y réplica

El área de oportunidad detectada en la cual este proyecto podría ser replicado es al resto de las planta cerveceras el grupo, ya que la metodología aborda un problemática común para el área de elaboración, además que comparte información relevante acerca de acciones específicas que se llevaron a cabo con el fin de mejorar el indicador.

CCM Navjoa cuenta con un sistema llamado Knowledge Management (KM) el cual es una plataforma de intercambio de conocimiento. Una vez terminado de documentar el proceso se subirá a dicha plataforma para que pueda ser consultado por cualquier usuario con acceso a dicha plataforma. En la documentación adicionalmente se pone la información del contacto en caso de que se requiera de mayor información.

5 Recomendaciones y trabajos futuros

Introducción

En la siguiente sección se describe brevemente algunas recomendaciones que se hacen al proceso, así como a las personas que lo administran. También se habla acerca de investigaciones o trabajos futuros que pueden derivarse a partir de este proyecto. Todo esto bajo un esquema de mejora continua.

5.1 Recomendaciones al proceso

Durante el estudio de R&R anidado a pesar de que la variabilidad atribuible al sistema R&R fue muy baja, se pudieron observar inconsistencias por parte de los operadores al llevar a cabo las mediciones, esto nos lleva a concluir que dicha inconsistencia es lo suficientemente baja para no afectar al sistema de medición, pero se requiere de una mayor investigación y tal vez mayor entrenamiento a los operadores para poder asegurar la estandarización de esta práctica. También es recomendable verificar la matriz de capacitación para asegurar de que en caso de algún cambio o un nuevo trabajador se integre, pueda entrenarse eficientemente en dicho proceso.

Otra recomendación es hacer comparaciones referenciales con otras plantas del grupo. Los procesos de elaboración en teoría son iguales; sí existe variación por los equipos de mayor o menor tecnología, pero el proceso en esencia es el mismo, por lo que el intercambio de mejoras prácticas podría aumentar más el grado de conocimiento respecto al proceso.

Es necesario terminar de implementar las mejoras al sistema Botec, aún existen áreas de oportunidad respecto a la recopilación de información especialmente en el área de fermentación y salas frías (las cuales no estuvieron dentro del alcance de este proyecto). De igual forma, es necesario buscar una plataforma en html que pueda ser accesible para los usuarios clave.

5.2 Trabajos futuros

El alcance de este proyecto no contempló un diseño de experimentos, la razón principalmente fue que el proceso presentaba fuertes áreas de oportunidad que fueron corregidas en este proyecto. La aplicación de un diseño de experimentos es algo más fino que se pudiera llevar a cabo una vez cerrando y concluyendo la fase de control.

Se recomienda hacer un análisis futuro acerca del efecto que tiene la marca que se está elaborando y la merma. Esta hipótesis ya se manejaba de manera empírica entre los dueños del proceso y los operadores, y quedó confirmado en el último análisis de regresión, pero se decidió no contemplarlo dentro del alcance de este proyecto.

De igual forma, en el último análisis de regresión quedó evidenciado el impacto que tiene el uso de almidón en la merma. Esta materia prima ya se ha estado dejando de usar, sustituyéndolo por adjunto líquido. Valdría la pena llevar a cabo un estudio que haga un comparativo sobre los costos-beneficios de utilizar almidón o adjunto líquido, tomando como variable principal la merma que genera cada uno.

Por último, se recomienda llevar a cabo un proyecto de Seis Sigma para las otras dos áreas de elaboración: fermentación y salas frías, ya que la merma en esas áreas ha estado alta e inconsistente.

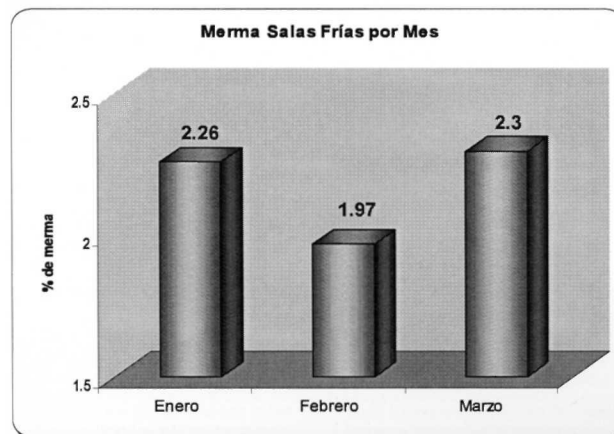


Figura 5.1 Merma Salas frías por mes

Apéndice A

Product or Service Impacted	Merma extracto de Elaboración	Expected Project Savings (Pesos)	\$	2,000,000.00
Black Belt / Green Belt	GLM (BB) / AVV (GB)	Business Unit	CCM Planta Navjoa	
Champion	Rene Cázarez Campos	Start Date	21 de enero de 2008	
MBB	NA	Target Completion Date	20 de abril de 2008	

Element	Description					
1. Process:	Process in which opportunity exists	Proceso de elaboración de cerveza				
2. Project Description	Problem and goal statement (project's purpose)	Aplicación de la metodología DMAIC de Seis Sigma con el objetivo de poder minimizar la pérdida de cerveza durante el proceso de elaboración, la cual llamaremos merma de cerveza, y así poder ahorrar en costos, mejorando el costo unitario de producción, generando valor para los accionistas y cumpliendo las necesidades del cliente al tener un proceso mejor controlado				
3. Objective:	Key process metrics impacted by the project	Process Metric	Baseline	Goal	Entitlement	Units
		Merma extracto	4.06	3.50	3.10	%
		Merma cocimientos	1.25	1	0.76	%
		Merma Salas Frías	2.78	2.5	2.24	%
4. Business Case	Expected financial improvement, or other justification	Se espera un reducción del CUP disminuyendo la merma de cerveza en el proceso de elaboración, por lo tanto impactando en la meta final de los 2 millones de pesos.				
5. Team members:	Names and roles of team members	Alejandro Valenzuela Valenzuela Green Belt / Gustavo Adolfo Lujan Black Belt / Julio Isidro Almaguer Process Owner / Joseba Iñaki Aguirre Process Owner / Juan Francisco Rivera Process Owner / Rene Cázarez Campos Champion / Ramon Zarate Hurtado Ingeniería / Martín García Barrón Operación / Milagros Armenta Ruiz Apoyo operación elaboración				
6. Project Scope:	Which are the dimensions of the project? What will be excluded?	Solo se tomará el proceso de elaboración. El objetivo y ahorro en merma de cerveza no incluye la generada por el área de envasado				
7. Benefit to External Costumer	Who are the final customers, what are their key measures, and what benefits will they see?	El cliente final en este proceso son los accionistas, pues el ahorro generado en este proyecto impacta directamente sobre el flujo de efectivo de la compañía y en la reducción el CUP.				
8. Schedule	Key completion dates.	Project Start	21 de enero de 2008			
	M- Measurement	"M" Complete	15 de febrero de 2008			
	A- Analysis	"A" Complete	1 de marzo de 2008			
	I- Improvement	"I" Complete	15 de marzo de 2008			
	C- Control	"C" Complete	30 de marzo de 2008			
	Other milestones					
		Project Complet	20 de abril de 2008			
9. Support Required	Will any special capabilities, hardware, etc. be needed?	1 practicante que nos ayude a recopilar y capturar la información necesaria para el análisis. Curso de Minitab para el personal participante.				

<i>Julio Isidro Almaguer</i> Firma y nombre	<i>Ramon Alberto Zarate Hurtado</i> Firma y nombre
<i>Gustavo A. Lujan Moreno</i> Firma y nombre	<i>Martin Emilio Garcia Barrón</i> Firma y nombre
<i>Alejandro Valenzuela Velazquez</i> Firma y nombre	<i>ARMENTA RUIZ MILAGROS CONCEPCION.</i> Firma y nombre
<i>Juan Fco. Rivera Ortega</i> Firma y nombre	
<i>Julio Almaguer</i> Firma y nombre	<i>JOSE RENE CAZAREZ CAMPOS</i> Firma y nombre

Figura 3.1 Project Charter

Bibliografía:

- Breyfogle III, F. W., Cupello, J. M. y Meadows, B. (2001). *Managing Six Sigma*. New York, Estados Unidos: Wiley-Interscience.
- George, M. L. (2002). *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Speed*. Estados Unidos: McGraw-Hill.
- Snee, R. D. y Hoerl, R. W. (2003). *Leading Six Sigma*. New Jersey, Estados Unidos: Prentice Hall.
- La Esencia del Trabajo en Equipo (Febrero 2002) [Material didáctico de curso Metodología "Six Sigma"]. *Copy Editor*, 33-53.
- Herramienta y Fases dentro del Programa Seis Sigma (2005) [Material didáctico de Curso para Certificación Black Belt Six Sigma]. *Copy Editor*, 2, 5-31.

VITA

Gustavo Adolfo Luján Moreno es Ingeniero Industrial y de Sistemas egresado del Instituto Tecnológico de Sonora, ha trabajado por 7 años en Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma desempeñándose como supervisor de envasado, comprador internacional y actualmente ocupa el puesto de Jefe de Desarrollo Organizacional.

En su labor docente ha sido maestro de inglés de Harmon Hall, impartido clases en la Universidad Tecmilenio y actualmente trabaja como maestro en el Instituto Tecnológico de Sonora en el área de Administración. Ha impartido cursos, seminarios y talleres en diferentes foros e instituciones educativas en las áreas de ingeniería, administración y recursos humanos.

Actualmente cursa la Maestría en Calidad y Productividad en la Universidad Virtual del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey y es candidato a certificarse como Black Belt en Seis Sigma por la misma institución y la Arizona State University.

Su dirección laboral es:

Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma
Km. 149.5 carretera Mochis-Navojoa
Parque Industrial. C.P. 85801
Navojoa, Sonora.

Su dirección permanente es:

Paseo de las Palmas 74.
Fraccionamiento Los Laureles C.P. 85874
Navojoa, Sonora.

Su dirección de correo electrónico es:

galujmor@ccm.femsa.com.mx ; lujangus@hotmail.com

