



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**PROPUESTA DE MEJORA EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN
DE CERVEZA ARTESANAL**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Titulo de Ingeniería Industrial

AUTOR: Marcos Javier Rodríguez Sánchez

TUTOR: Ing. Ángel Eduardo González Vásquez, PhD

Guayaquil – Ecuador
2023


CERTIFICACION DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Marcos Javier Rodríguez Sánchez, con documento de identificación N° 0923571368 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 6 de Julio del año 2023

Atentamente,



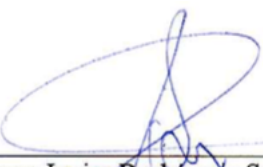
Marcos Javier Rodríguez Sánchez
0923571368

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL
TRABAJO DE TITULACION A LA UNIVERSIDAD POLITECNICA
SALESIANA**

Yo, **Marcos Javier Rodríguez Sánchez**, con documento de identificación No. 0923571369, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politecnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: “Propuesta de Mejora en los Procesos de Producción de Cerveza Artesanal”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Industrial, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 6 de Julio del año 2023



Marcos Javier Rodríguez Sánchez
0923571368

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ing. Ángel Eduardo González Vásquez, PhD con documento de identificación N° 0911019529, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: PROPUESTA DE MEJORA EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE CERVEZA ARTESANAL, realizado por Marcos Javier Rodríguez Sánchez con documento de identificación N° 0923571368, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción trabajo Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 6 de Julio del año 2023



Ing. Ángel Eduardo González Vásquez, PhD.
0911019529

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a todos quienes persisten cada día en conseguir sus sueños y lo que mas anhelan. El mundo necesita soñadores y el mundo necesita hacedores. Pero sobre todo, el mundo necesita soñadores que hacen.

«Hay tres grupos de personas: los que hacen que las cosas pasen; los que miran las cosas que pasan y los que se preguntan qué pasó.»

Carpe diem.

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente al ser que esta por sobre todo lo creado “Dios” por darme la salud y las oportunidades necesarias para cumplir con este objetivo.

Agradezco a mis padres por el apoyo y esfuerzo durante cada una de mis etapas en mi carrera universitaria.

Agradezco a cada uno de los docentes, tutores y demas personal de la universidad por brindarme los maspreciado, lo cual es su conocimiento.

Finalmente, a mis 3 grandes motores en esta vida, mi esposa y mis hijos.

RESUMEN

El estudio enfocado a la propuesta de mejora en los procesos de producción de cerveza artesanal que busca mejorar la calidad y eficiencia de la producción mediante la identificación y reducción de las variables críticas del proceso. La propuesta se basa en la metodología DMAIC para la mejora continua, que incluye cinco etapas: definir, medir, analizar, mejorar y controlar, en este aspecto dentro del estudio para obtener los resultados esperados se han desarrollado de la siguiente manera. En la primera etapa, se define el problema y se establece el objetivo general y los objetivos específicos de la propuesta. En la segunda etapa, se mide y se recopila información sobre las variables críticas del proceso de producción de cerveza artesanal. En la tercera etapa, se analiza la información recopilada para identificar las causas raíz de los problemas del proceso de producción. En la cuarta etapa, se proponen mejoras para reducir las variables críticas identificadas y se desarrolla un plan de acción para implementar las mejoras. Finalmente, en la quinta etapa, se establecen los controles necesarios para garantizar que los cambios realizados sean efectivos y sostenibles a lo largo del tiempo.

Palabras claves: Proceso, DMAIC, calidad, eficiencia, producción.

ABSTRACT

The study focused on the proposal for improvement in the craft beer production processes that seeks to improve the quality and efficiency of production by identifying and reducing critical process variables. The proposal is based on the DMAIC methodology for continuous improvement, which includes five stages: define, measure, analyze, improve and control, in this aspect within the study to obtain the expected results have been developed as follows. In the first stage, the problem is defined and the general objective and specific objectives of the proposal are established. In the second stage, information on the critical variables of the craft beer production process is measured and collected. In the third stage, the collected information is analyzed to identify the root causes of production process problems. In the fourth stage, improvements are proposed to reduce the identified critical variables and an action plan is developed to implement the improvements. Finally, in the fifth stage, the necessary controls are established to guarantee that the changes made are effective and sustainable over time.

Keywords: Process, DMAIC, quality, efficiency, production.

INDICE

CERTIFICACION DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	I
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACION A LA UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA.....	II
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT	VII
INDICE	VIII
INDICE DE TABLA.....	X
INDICE DE FIGURA	X
INDICE ILUSTRACIÓN.....	X
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
EL PROBLEMA	2
1.1 descripción del problema.	2
1.2 Justificación del problema.....	2
1.3 Grupo objetivo (beneficiarios)	2
1.4 Delimitación	3
1.4.1 Delimitación temporal.....	3
1.4.2 Delimitación geográfica	3
1.5 Objetivo	3
1.5.1 Objetivo general	3
1.5.2 Objetivos específicos.....	4

CAPÍTULO II.....	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes investigativos.	5
2.2. Bases Teóricas	8
2.2.1. Herramientas para el diagnóstico	8
2.2.2. Herramientas para la propuesta de mejora	11
2.2.3. Indicadores	15
2.2.4 Metodología Seis Sigma (6σ).....	16
CAPITULO III.	17
METODOLOGÍA	17
3.1 Metodología de Investigación	17
3.2 Procedimiento de Aplicación de Técnicas e Instrumentos.....	17
3.2.1 Disposición de planta, las 5 fases de la metodología DMAIC.....	17
3.2.2 Procedimientos de Medición	17
3.2.3 Desarrollo de la propuesta de la nueva disposición de planta de la empresa cervecera el Rey	18
CAPÍTULO IV	23
RESULTADOS	23
4.1 Análisis y discusión.....	25
CAPÍTULO V	26
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	26
5.1 CONCLUSIONES.....	26
5.2 RECOMENDACIONES	26
BIBLIOGRAFÍA.....	27

INDICE DE TABLA

Tabla 1. Clientes	3
Tabla 2. Tabla relacional	13
Tabla 3. Identificación de actividades	14
Tabla 4. Código de proximidades.....	14
Tabla 5. Matriz para el Análisis Dimensional	19
Tabla 6. Comparación entre la opción T y L.....	20
Tabla 7. Comparación entre la opción T e I	20
Tabla 8. Comparación entre la opción T y U	20
Tabla 9. Área Total Requerida por Actividad	21
Tabla 10. Tabla relacional	22
Tabla 11. Cálculo de la productividad de la propuesta.	25

INDICE DE FIGURA

Figura 1. Fases de la metodología DMAIC.....	5
Figura 2. Herramientas y técnicas aplicadas en cada fase del DMAIC	7
Figura 3. Diagrama de causa y efecto	9
Figura 4. Esquema de la tabla relacional.....	13
Figura 5. Layout Inicial.....	18
Figura 6. Tabla Relacional	22

INDICE ILUSTRACIÓN

Ilustración 1. Disposición de planta.....	23
--	----

INTRODUCCIÓN

La cerveza artesanal se ha convertido en una tendencia cada vez más popular en todo el mundo, debido a su sabor único y a la variedad de estilos disponibles. Sin embargo,

La producción de cerveza artesanal puede ser un proceso complejo y variado, que incluye diferentes etapas como la selección de materias primas, la molienda, la maceración, la cocción, la fermentación, el envasado y el almacenamiento. Cada una de estas etapas es crucial para el resultado final de la cerveza, y cualquier desviación o error en alguna de ellas puede afectar significativamente la calidad y el sabor de la cerveza.

Es por eso que las cervecerías artesanales buscan constantemente mejorar sus procesos de producción para maximizar la eficiencia y la calidad de sus productos. En este contexto, surge la propuesta de mejora en los procesos de producción de cerveza artesanal, que tiene como objetivo identificar y reducir las variables críticas del proceso de producción para mejorar la calidad y eficiencia de la producción de cerveza artesanal. Para lograr este objetivo, la propuesta se basa en la metodología DMAIC para la mejora continua es una herramienta útil para lograr este objetivo, ya que permite una evaluación sistemática de cada etapa del proceso de producción y la identificación de áreas de mejora. La metodología DMAIC se divide en cinco etapas, definir: en esta etapa se define el problema y se establece el objetivo general y los objetivos específicos de la propuesta, medir: en esta etapa se mide y se recopila información sobre las variables críticas del proceso de producción de cerveza artesanal, analizar: en esta etapa se analiza la información recopilada para identificar las causas raíz de los problemas del proceso de producción, mejorar: en esta etapa se proponen mejoras para reducir las variables críticas identificadas y se desarrolla un plan de acción para implementar las mejoras, controlar: en esta etapa se establecen los controles necesarios para garantizar que los cambios realizados sean efectivos y sostenibles a lo largo del tiempo.

La propuesta de mejora en los procesos de producción de cerveza artesanal es un tema relevante y de gran interés para las cervecerías artesanales, ya que permite mejorar la calidad y eficiencia de la producción de cerveza artesanal y aumentar la satisfacción del cliente. La metodología DMAIC para la mejora continua es una herramienta valiosa para lograr este objetivo, y su aplicación puede tener un impacto significativo en el éxito y la rentabilidad de las cervecerías artesanales.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 descripción del problema.

En el proceso de elaboración de la cerveza existen diferencias en el valor de PH, concentración, grado alcohólico, tiempo, temperatura, etc., por lo que no se pueden obtener productos estandarizados, los equipos no se mantienen, las herramientas se usan mal y se contaminan.

La situación mencionada también se relaciona con la falta de conocimiento sobre los cambios no documentados en el proceso, lo que limita su seguimiento y genera riesgos potenciales para la empresa, ya que no se puede garantizar y faltan herramientas que permitan evaluar el proceso. Obtenga los productos seguros y de calidad que demandan sus cerveceros y clientes. La falta de control de las variables críticas aumenta el deterioro, los productos fuera de especificación y los bajos rendimientos, lo que obliga a las empresas a prestar mucha atención a las situaciones que sufren si no se abordan en el modelo de producción actual.

1.2 Justificación del problema.

La escena de bares en Guayaquil ha cambiado y se están abriendo más bares, lo cual es notable. Esto es en respuesta a la reciente gran demanda de cerveza premium. Esta necesidad debe ser satisfecha con productos de alta calidad y alto valor para el cliente. Lograr esto requiere jugadores del mercado apasionados y genuinamente interesados.

El objetivo del proyecto es desarrollar una propuesta para mejorar el proceso de producción de cerveza artesanal y con ello mejorar las condiciones, asegurar la calidad del producto y aumentar la productividad. Pero además de destacar de alguna manera entre la nueva ola de fabricantes, también reduce los problemas creados por la empresa y mejora su posición en el mercado.

1.3 Grupo objetivo (beneficiarios)

Los clientes de Beer Company “El Rey” que forman parte del proyecto técnico se presentan a continuación:

Tabla 1. Clientes

Clientes
Cava Licores (Samanes)
Cava Licores (Guayacanes)
Sal en Grano
D-javo
Todas las personas que quieran tomar y elaborar una buena cerveza.

Fuente: Elaboración propia, 2022

1.4 Delimitación

1.4.1 Delimitación temporal

El plazo previsto es de cinco meses desde la aprobación de este proyecto y durante este periodo se pueden registrar todos los puntos problemáticos para comprobar las mejoras que se pueden conseguir aplicando la herramienta de mejora continua mediante el método DMAIC.

1.4.2 Delimitación geográfica

Beer Company “El Rey” es una empresa ubicada en la ciudad de Guayaquil, Ecuador misma que se dedica a la elaboración y venta a granel de cervezas artesanales en bares, restaurantes, ferias, otras partes de la ciudad y del país. Debido a condiciones requeridas y capacidad en espacios físicos cuenta con 2 plantas de procesamiento.

Planta 1: Dirección en la Cdla. Samanes 6 Mz. 918 V.18

Procesos que se realiza: Molienda, Macerado, Cocción, Enfriamiento.

Planta 2: Dirección: Urb. Polaris Mz. 792 V.10

Procesos que se realiza: Fermentación, Maduración, Envasado, Almacenamiento.

Actualmente, posee una producción de seis variedades de cervezas: Stout, Cream Ale, Irish Red, Brown, Belgian e IPA. En su conjunto, hacen una producción aproximada de 4.800 L/año, de acuerdo con el personal encargado de producción, siendo las primeras las tres, con mayor demanda.

1.5 Objetivo

1.5.1 Objetivo general

- Proponer un plan para la reducción de las variables críticas presentes en el proceso de producción de la cerveza artesanal a través de la mejora continua con metodología DMAIC.

1.5.2 Objetivos específicos

En consonancia con el objetivo principal de la cervecería, surgen los siguientes objetivos específicos:

- Describir el sistema de producción que incluya la identificación de las variables cualitativas y cuantitativas del proceso.
- Medir las variables críticas encontradas.
- Analizar la causa raíz de la problemática encontrada

CAPÍTULO II

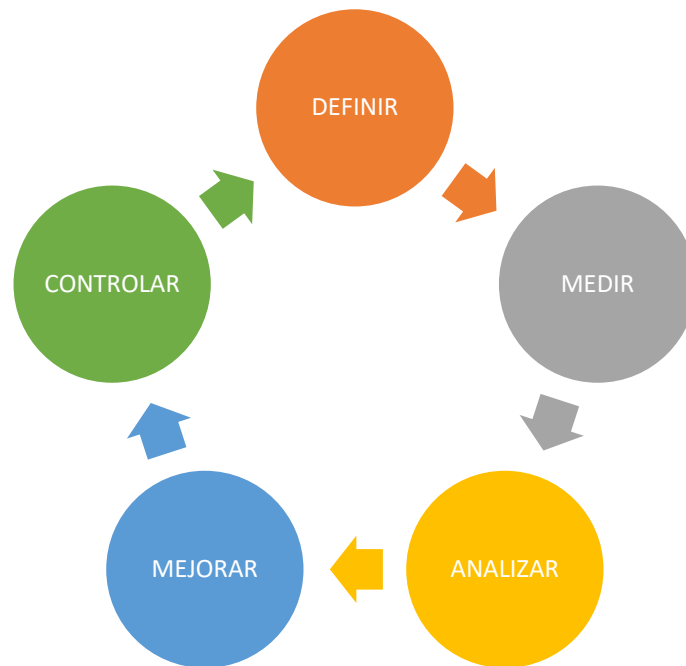
MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes investigativos.

A continuación, se presentan estudios anteriormente publicados que presentan alternativas de mejora de procesos aplicando la metodología DMAIC.

De acuerdo con (Shankar, 2009), la metodología DMAIC funciona una vez que la empresa ha identificado un problema, para posteriormente implementar, a través de 5 fases (Figura 1), una serie de herramientas y técnicas en secuencia lógica, hasta obtener una solución, ya sea minimizando el problema o eliminándolo desde la raíz, logrando con ello mantener competitiva a la empresa.

Figura 1. Fases de la metodología DMAIC



Fuente: (Pavón, 2012)

Las 5 fases de la metodología DMAIC están establecidas de tal forma que, en cada uno se pueda ir mejorando sin necesidad de depender de la siguiente fase.

En la etapa de **Definir**, consiste en identificar el problema u oportunidad de mejora que tiene la empresa actualmente. En él se identifican los posibles proyectos Seis Sigma, que deben ser evaluados por la dirección para evitar la infrutilización de recursos.

Inmediatamente identificado el problema a tratar, entra en proceso la parte de Medir, el cual consiste en caracterizar el proceso para identificar los requisitos clave de los clientes,

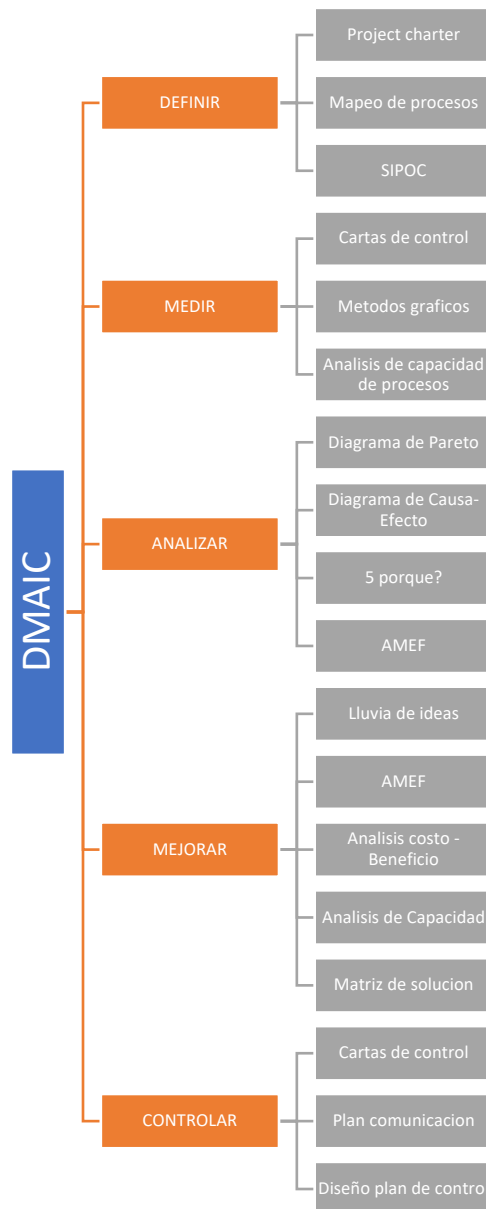
las especificaciones del producto, y los parámetros que afectan el funcionamiento del proceso y variables clave.

Posteriormente y con las mediciones ya realizadas, hay que **Analizar** las causas, por lo que para esta fase el equipo analiza los datos de resultados actuales e históricos. Se desarrollan y comprueban hipótesis sobre relaciones causa-efecto, utilizando las herramientas estadísticas. De esta forma, el equipo confirma los determinantes del proceso, es decir, las variables clave de entrada que afectan a las variables de respuesta del proceso.

Seguido del análisis, viene la etapa de **Mejorar** y es en esta etapa donde el equipo trata de determinar la relación causa-efecto para predecir, mejorar y optimizar el funcionamiento del proceso. Se determina el rango operacional de los parámetros o variables de entrada del proceso. Por último, y para mantener las buenas prácticas de manera permanente, es necesario **Controlar** por lo que se debe diseñar y documentar los controles necesarios para asegurar que lo conseguido mediante el proyecto Seis Sigma se mantenga una vez que se hayan implantado los cambios.

En la metodología DMAIC se utilizan herramientas estadísticas que permiten obtener y analizarlos. Por tal motivo, es esencial saber cuáles son las herramientas más frecuentes dentro de esta metodología y en cada una de sus fases. Para ello, (Hambleton, 2007), sugiere que las herramientas más utilizadas son SIPOC, cartas de control, mapeo de procesos, AMEF, lluvias de ideas y el diagrama de Pareto, mismos que se pueden observar en la figura 5, en donde se aprecian las fases que integran la metodología DMAIC seguido de las principales herramientas y/o técnicas que se requieren para ir cumpliendo cada una de esas fases, como en el caso de la fase DEFINIR, las principales herramientas para definir el problema son el Project charter, el mapeo de procesos y el diagrama SIPOC.

Figura 2. Herramientas y técnicas aplicadas en cada fase del DMAIC



Fuente: (Hambleton, 2007)

Reyes Aguilar (2002), en el artículo “Manufactura Delgada (Lean) y Seis Sigma en empresas mexicanas: experiencias y reflexiones” de Reyes Aguilar (2002) Analiza las herramientas de Lean Manufacturing, específicamente Six Sigma, pueden mejorar la posición competitiva de las pequeñas y grandes empresas en el sector manufacturero. También señala que estas herramientas pueden ser de gran ayuda en materia de consultoría y capacitación. En su artículo, señala que Six Sigma es un enfoque complementario de la productividad y la calidad que reduce los costos al reducir la variación en los procesos, productos y servicios con el objetivo de lograr hasta 3,4 errores o errores por millón de oportunidades.

La investigación del “Procedimiento de mejora de la cadena inversa utilizando metodología Six Sigma” de Dubé, Hevia, Michelena, Suárez, Pedro-Díaz (2017), explican brevemente el diseño general y la implementación de un programa de mejora continua, en particular las herramientas Six Sigma. Utilizaron este método en el proceso de reciclaje de latas de aluminio y llegaron a la conclusión de que el método Six Sigma puede reducir la cantidad de residuos en cualquier actividad industrial y en muchos sentidos tiene un efecto beneficioso sobre el medio ambiente, especialmente sobre el medio ambiente. Reducir costos. Esto significa importantes beneficios financieros y una mayor satisfacción del cliente, así como la capacidad de mejorar la eficiencia del proceso de producción.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Herramientas para el diagnóstico

2.2.1.1. Hoja de procesos

Es este documento el que permite recopilar información sobre las actividades realizadas para la elaboración del producto, incluyendo proveedores, materias primas, procesos, salidas y clientes.

2.2.1.2. Diagrama de operaciones del proceso

Un diagrama que muestra los procesos y controles que están sujetos a un proceso en particular; desde la materia prima hasta el empaque del producto final y la distribución. (Universidad Nacional Autónoma de México, (s.f.))

Además, el punto en el que el material ingresa al proceso se considera una representación gráfica de la secuencia de inspección y operación. Su propósito es proporcionar una comprensión clara de la secuencia de eventos en cada proceso. Por lo tanto, permite el seguimiento sistemático del proceso y el consumo de materiales para minimizar los retrasos. (García, 2011)

2.2.1.3. Diagrama de análisis de proceso

La herramienta de análisis se expresa en el gráfico porque refleja todos los procesos o varias acciones. Considere la cantidad y el tiempo en esta pantalla gráfica. Todo esto conduce al objetivo analítico de encontrar y eliminar los defectos que ocurren en un proceso. (García, 2011)

2.2.1.4. Diagrama de Ishikawa

Cuando se ha identificado el problema a estudiar, es necesario buscar las causas que producen la situación anormal. Cualquier problema por complejo que sea, es producido por factores que pueden contribuir en una mayor o menor proporción. Estos factores pueden estar relacionados entre sí y con el efecto que se estudia.

El Diagrama de Causa y Efecto es un instrumento eficaz para el análisis de las diferentes causas que ocasionan el problema. Su ventaja consiste en el poder visualizar las diferentes cadenas Causa

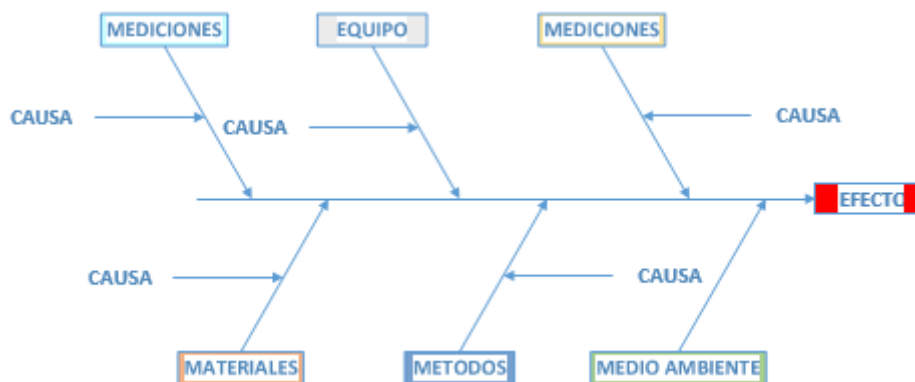
y Efecto, que pueden estar presentes en un problema, facilitando los estudios posteriores de evaluación del grado de aporte de cada una de estas causas. (Ramírez, 2002)

La clasificación más ampliamente difundida y que se emplea preferiblemente para analizar problemas de procesos y averías de equipos, es la siguiente:

- Materia Prima
- Mano de obra
- Método
- Maquinaria
- Medio Ambiente
- Medición

Algunas de las ventajas de la técnica son: elimina el síndrome de la causa única, produce un entendimiento uniforme del problema al presentar la misma información a todos los involucrados y algo muy importante, los hace corresponsables del problema.

Figura 3. Diagrama de causa y efecto



Fuente: (Stavrakas, 2011)

Esta técnica demanda un conocimiento profundo de la empresa y de los problemas que se presentan y sólo se aplica a un problema a la vez, aunque se detecten otros vinculados con el problema analizado.

2.2.1.5 Diagrama de Pareto

El Principio de Pareto es también conocido como la Regla de 80/20 y es uno de los conceptos más útiles para la productividad personal y el éxito. Se llama así por su descubridor, Vilfredo Pareto, un economista italiano, quien lo formuló en 1895. No obstante, el principio de Pareto permite utilizar herramientas de gestión de la calidad, como el diagrama de Pareto, que se usa ampliamente en temas de control de calidad (el 80% de los defectos radican en el 20% de los procesos). Así, de forma relativamente sencilla, aparecen los distintos elementos que participan en un fallo y se pueden identificar los problemas realmente relevantes, que acarrearán el mayor porcentaje de errores.

El diagrama de Pareto es una representación gráfica de los datos obtenidos sobre un problema, que ayuda a identificar cuáles son los aspectos prioritarios que hay que tratar. Los pasos para realizarlo son:

1. Determinar el problema o efecto a estudiar
2. Investigar los factores o causas que provocan ese problema y cómo recoger los datos referentes a ellos
3. Recolectar datos (anotando magnitudes de cada factor)
4. Ordenar los factores de mayor a menor en función de la magnitud de cada uno de ellos
5. Calcular la magnitud total del conjunto de factores
6. Calcular el porcentaje total que representa cada factor, así como el porcentaje acumulado
7. Graficar

Un análisis de Pareto cumple con una serie de características principales, como lo son:

- **Priorización:** Identificar los elementos que más peso o importancia tienen dentro de un grupo.
- **Unificación de criterios:** Enfoca y dirige el esfuerzo de los componentes del grupo de trabajo hacia un objetivo prioritario común.
- **Carácter Objetivo:** Su utilización fuerza al grupo de trabajo a tomar decisiones basadas en datos y hechos objetivos y no en ideas subjetivas.
- **Simplicidad:** No requiere de cálculos complejos ni técnicas sofisticadas de representación gráfica.
- **Impacto visual:** El diagrama de Pareto comunica de forma clara, evidente y de un “vistazo”, el resultado del análisis de comparación y priorización.

2.2.1.6 Análisis de Causa Raíz

El análisis de las causas raíz (ACR), ayuda a identificar qué, cómo y por qué sucedió algo, lo que impide recurrencia. Las causas de raíz son subyacentes, son razonablemente identificables, puede ser controlado por la administración y permiten la generación de recomendaciones. El proceso consiste en la recopilación de datos, gráficos, identificación de la causa raíz de y la generación de recomendaciones y su implementación (Rooney & Vanden Heuvel, 2004)

ACR es una herramienta diseñada para ayudar a identificar no sólo qué y cómo ocurrió un hecho, sino también por qué sucedió. Sólo cuando los investigadores son capaces de

determinar por qué un evento o el fracaso ocurrió van a ser capaces de especificar viables medidas correctoras que eviten futuros eventos del tipo observado. ACR es un proceso de cuatro pasos que incluye lo siguiente:

1. Recopilación de datos.
2. Gráficos factor causal.
3. Identificación de la causa raíz.
4. Generación de recomendación e implementación.

2.2.1.7 Histograma

El histograma es otra herramienta utilizada en la implementación de la metodología DMAIC para detectar las frecuencias de los eventos. (Levine, 2006), lo definen como una gráfica de barras para datos numéricos agrupados, en los que las frecuencias o porcentajes de cada grupo de datos numéricos están representados por barras individuales, no hay brechas entre las barras y la variable que nos interesa se coloca a lo largo del eje (X) horizontal, mientras que el eje (Y) vertical, se representa la frecuencia o el porcentaje de los valores por intervalos de clase.

Tiene por objeto explotar la distribución de probabilidades de una característica que presenta variabilidad y, para ello, es importante saber distinguir entre los datos discretos y los datos continuos. Una de sus ventajas, se centra en que actualmente existen una gran variedad de herramientas que facilitan su elaboración, desde las más básicas como Excel, hasta algo más complejas como el software minitab en sus diferentes versiones.

2.2.2. Herramientas para la propuesta de mejora

2.2.2.1. Análisis dimensional

Es un método de determinación de posición basado en el rechazo sistemático de una de las dos opciones comparadas. (Díaz, B., Jarufe, B., & Noriega, M., 2007)

Pasos:

- ❖ Precisar los factores relevantes de la localización, para elegir cual se empleará si es un costo o un puntaje utilizado de unidad de medida. Si se usa el costo, este se otorga a las dos opciones de elección; mientras que si es puntaje se le brinda una escala cualquiera que represente la posición relativa entre las disyuntivas.

S_{ij} = *puntaje o costo para la localización j* ($j = 1, 2, 3 \dots n$, donde n se refiere al número de los factores valorados como importantes para la decisión)

- ❖ Se establece un orden de prioridad a los factores P_j = ponderación perteneciente de los factores j
- ❖ Para posteriormente evaluar:

$$\prod_{j=1}^n \left[\frac{SA_j}{SB_j} \right]^{P_j}$$

Donde:

- Π : Es la multiplicadora
- A y B son las opciones que se confrontan
- ❖ Cuando los resultados de la ecuación que es superior a uno, la opción B es mejor que la opción A. Si por el contrario la ecuación es menor a uno la opción A es la mejor

Observación: Este método es adaptable para el análisis de tipo de distribución de planta.

2.2.2.2. Método Guerchet

Permite calcular la dimensión física que se van a necesitar para establecer la planta, por lo que se identifica los elementos estáticos (maquinaria y equipos) y elementos móviles (número total de colaboradores y equipos de acarreo).

Para cada componente que se distribuirá, el área total a necesitar se obtiene con la adición de las 3 superficies parciales (Díaz, B., Jarufe, B., & Noriega, M., 2007)

$$S_t = n(S_s + S_g + S_e)$$

Donde:

S_t = superficie total

S_s = superficie estática

S_g = superficie gravitacional

S_e = superficie evolucion

n = numero de elementos moviles

📏 Superficie estática (S_s)

Es la que corresponde al área del lugar donde están las máquinas, muebles y equipos.

$$S_s = \text{Largo} \times \text{ancho}$$

📏 Superficie de gravitacion (S_g)

Es el sitio que utiliza el operario y el material acopiado para las actividades que se dan en los puestos de trabajo.

$$S_g = S_s \times n$$

📏 Superficie de evolucion (S_e)

Es aquella que se considera entre cada puesto de trabajo para la circulación del personal, del equipo y de las vías de transporte y salida del producto concluido.

$$S_e = (S_s + S_g) \times k$$

k = coeficiente de evolucion

(relacion media ponderada de las alturas de lo medios móviles y estáticos)

Observaciones: Se considera una superficie estática de 0,5 m² y una altura promedio de 1,65m.

2.2.2.3. Análisis de relaciones de actividades

Es el análisis que se utiliza para obtener propuestas de distribución general, ya que permite elaborar una propuesta que tenga en cuenta la importancia de la proximidad del área de producción al área administrativa. (Díaz, B., Jarufe, B., & Noriega, M., 2007)

1. Tabla relacional

Es una tabla de forma diagonal, donde figura la proximidad entre las actividades.

1.1. Secuencia para su elaboración

Se toma en cuenta dos elementos:

- Tabla de valor de proximidad
- Lista de razones o motivos

La tabla de relaciones en cada cuadro representa la intersección de dos actividades; el fondo se divide en dos partes. El área superior se utiliza para estimar la proximidad y el motivo de elegir este valor en el área inferior.

Los valores se reflejan mediante las letras A, E, I, O, U, X donde tiene el siguiente significado:

Tabla 2. Tabla relacional

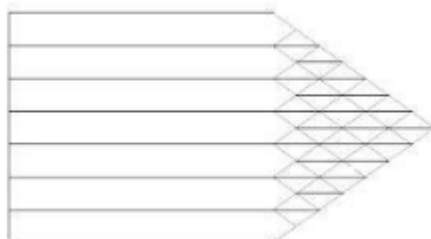
CÓDIGO	VALOR DE PROXIMIDAD
A	Absolutamente necesario
E	Especialmente necesario
I	Importante
O	Normal
U	Sin importancia
X	No recomendable

Nota. Recuperado del libro Disposición de Planta – Bertha Díaz

1.2. Bosquejo de la tabla relacional

El esquema utilizado es el siguiente:

Figura 4. Esquema de la tabla relacional.



Fuente: (Díaz, B., Jarufe, B., & Noriega, M., 2007)

2. Diagrama relacional de recorrido o actividades








Los valores de proximidad son aquellos que te permiten ver gráficamente todas tus acciones mientras estás realizando otras acciones. La figura mostrará los requisitos abreviados. (Díaz, B., Jarufe, B., & Noriega, M., 2007)

2.1. Proceso de elaboración

Los puntos para tomar en cuenta son los siguientes:

- Los símbolos para la identificación de las actividades.
- Utilizar un método que indique la proximidad pertinente.

Tabla 3. Identificación de actividades

CÓDIGO	COLOR	VALOR DE PROXIMIDAD
	Rojo	Operación (Montaje)
	Verde	Operación o proceso
	Amarillo	Transporte
	Naranja	Almacenaje
	Azul	Control
	Azul	Servicios
	Pardo	Administración

Nota. En la tabla 3 podemos observar los símbolos que utilizaremos al momento de la aplicación de la técnica relacional de actividades.

Tabla 4. Código de proximidades

CÓDIGO	PROXIMIDAD	COLOR	Ni LÍNEAS
A	Absolutamente necesario	Rojo	4 recta
E	Especialmente necesario	Amarillo	3 recta
I	Importante	Verde	2 recta
O	Normal	Azul	1 recta
U	Sin importancia	-----	-----
X	No recomendable	Plomo	1 zig - zag

Nota. En la tabla 4 podemos los códigos de proximidad que utilizaremos al momento de la aplicación de la técnica relacional de actividades.

3. Diagrama relacional de superficies

Es una de las opciones introducidas en la selección de leyes de la física vegetal, que tiene como objetivo seguir gráficamente la propagación del campo. Usamos unidades de área para representar áreas porque simplifica el dibujo y se adapta a diferentes formas. (Díaz, B., Jarufe, B., & Noriega, M., 2007)

4. Disposición ideal

Su propósito es poder mostrar la partición original para combinar las regiones asignadas a cada partición conservando la orientación de todas las regiones. (Díaz, B., Jarufe, B., & Noriega, M., 2007)

5. Disposición práctica

Una vez completada la alineación perfecta, dibuje las regiones una por una en unidades de región (2 x 2) en el plano y mueva las regiones como desee. (Díaz, B., Jarufe, B., & Noriega, M., 2007)

2.2.3. Indicadores

2.2.3.1. Productividad

1. Definición

- La eficiencia es una métrica definida como el resultado logrado en el proceso de producción de un bien o servicio y los recursos utilizados para producirlo. Por otro lado, también puede especificar la relación entre el resultado y el tiempo de ejecución. (Prokopenko, 1989)
- La eficiencia ayuda a mejorar el proceso de producción porque es una comparación entre la cantidad de recursos utilizados y la cantidad de bienes producidos. (Roberto Carro Paz & Daniel González Gómez, 2019)

2. Tipos de productividad

- **Productividad parcial:** Es aquella que vincula todo lo que se produce; es decir, salida con uno de los recursos utilizados, entrada.

$$Productividad = \frac{Resultados\ Obtenidos}{Una\ entrada}$$

- **Productividad total:** Se define como que envuelve a todos los recursos gastados, en otras palabras, relaciona la salida entre el conjunto de entradas.

$$Productividad = \frac{Resultados\ Obtenidos}{Suma\ de\ todos\ los\ recursos\ utilizados}$$

2.2.3.2. Eficiencia

Capacidad para completar una tarea o proyecto con menos recursos y menos tiempo de lo esperado. También puede interpretarse como el logro de objetivos con la menor cantidad de recursos posible. Su fórmula es la siguiente:

$$Eficiencia = \frac{Producción\ real}{Producción\ estandar}$$

2.2.3.3. Indicadores de Calidad

Los indicadores de calidad son herramientas de medición tangibles y medibles que miden la calidad de las operaciones para garantizar la satisfacción del cliente.

- ✓ Porcentaje de reproceso

$$\% \text{ Reproceso} = \frac{\text{número de reprocesos}}{\text{número total de veces de elaboración}} \times 100$$

- ✓ Tasa de cumplimiento

$$\text{Tasa de cumplimiento} = \frac{\text{lineamiento cumplido}}{\text{Total de lineamiento}}$$

2.2.4 Metodología Seis Sigma (6σ)

(Herrera, 2011), definen al Seis Sigma como una herramienta de mejoramiento que permite obtener organizaciones eficaces y eficientes, continuamente alineadas con las necesidades de los clientes. Gracias a ello, se ha podido beneficiar a un gran número de empresas, incrementando sus niveles de producción, detectando fallas a tiempo y mejorando sus procesos.

Por otro lado, (Vázquez, 2008) determina que Seis Sigma puede entenderse de tres formas: como una métrica, como una filosofía o como una meta, como métrica porque es una manera de medir el desempeño de un proceso, como filosofía por permitir el mejoramiento continuo apoyado en herramientas estadísticas, y como meta porque permite alcanzar un nivel de clase mundial al no producir servicios o productos defectuosos.

Seis Sigma es una herramienta muy poderosa para incrementar la productividad de cualquier organización, además, ayuda a obtener beneficios de la administración por calidad basada en cinco pasos que son (Miranda, 2006): Identificar procesos críticos en función de expectativas; medir el sistema; priorizar y analizar oportunidades; mejorar e integrar procesos para controlar al sistema.

CAPITULO III. METODOLOGÍA

3.1 Metodología de Investigación

El trabajo de investigación que hacemos es cuantitativo: recopilar datos para respaldar una hipótesis.

El alcance del estudio es ilustrativo. El diseño estadístico utilizado es no experimental, lo que significa que se enfoca únicamente en analizar el contexto en el que se produce el proceso de degradación con el fin de hacer recomendaciones para futuras mejoras.

3.2 Procedimiento de Aplicación de Técnicas e Instrumentos

3.2.1 Disposición de planta, las 5 fases de la metodología DMAIC

Las cinco fases del método DMAIC utilizado en la planificación de instalaciones están diseñadas para que cada fase se pueda mejorar sin depender de la siguiente fase.

La fase de identificación consiste en identificar problemas actuales u oportunidades de mejora en la empresa. Identificará proyectos potenciales de Six Sigma que la gerencia debería evaluar para evitar la subutilización de recursos.

Inmediatamente después de definir el problema a resolver, comienza la parte de medición, que incluye un proceso de caracterización para identificar requisitos y variables clave.

A continuación, se debe analizar la causa utilizando las medidas tomadas, por lo que en esta etapa el equipo analiza los datos sobre los resultados actuales y pasados. Usar herramientas estadísticas para desarrollar y probar hipótesis sobre relaciones causales. De esta manera, el equipo examinará las determinantes del proceso, las variables de entrada clave que afectan las variables de respuesta del proceso.

El análisis sigue a la fase de optimización, donde el equipo intenta identificar las relaciones de causa y efecto para predecir, optimizar y mejorar el proceso. Los rangos operativos se definen para los parámetros del proceso o las variables de entrada.

Finalmente, las inspecciones son necesarias para mantener las buenas prácticas, por lo que se deben desarrollar y documentar los controles necesarios para asegurar los resultados alcanzados con los proyectos Six Sigma después de que se hayan implementado los cambios.

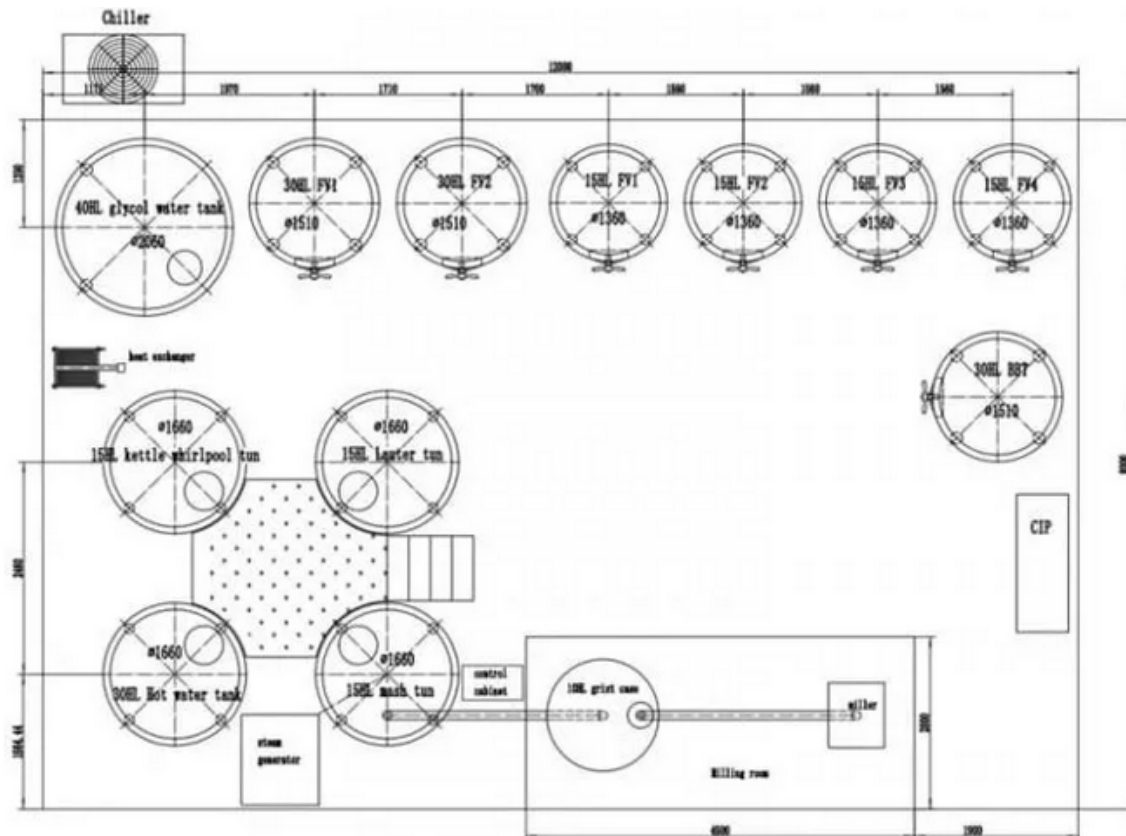
3.2.2 Procedimientos de Medición

Las mediciones detalladas del proceso se realizarán en la sección Indicadores. Nos ayudarán a realizar comparaciones y así analizar los resultados obtenidos. Se enfoca en el proceso y muestra el porcentaje de desempeño de los pasos del proceso realizados.

3.2.3 Desarrollo de la propuesta de la nueva disposición de planta de la empresa cervecería el Rey

Como primer paso antes de implementar un nuevo diseño de distribución, continuamos recopilando información del diseño original de la empresa. Esto nos ayudará a comparar la decisión inicial con la propuesta. Así apareció el layout inicial de Cervecería El Rey.

Figura 5. Layout Inicial



Después de la planificación inicial del taller, pasamos a utilizar el método de análisis dimensional. Como se mencionó anteriormente, este método nos ayudará a determinar la mejor secuencia de acciones, es decir, debemos distribuir T, L, I o U.

Los siguientes factores se tienen en cuenta para el análisis de las dimensiones de planificación de procesos:

- ✓ Mayor fluidez
- ✓ Aprovechamiento del área total
- ✓ Facilidad de evacuación
- ✓ Cantidad de personas
- ✓ Ergonomía del trabajador

Estos factores anteriores se considerarán para el tipo de puntuación con un valor entre 1 y 5, recuerde que 1 no es importante y 5 es muy importante. Opciones aplicables, es decir: T, L, I o U; utilizará el resultado para mostrar:

- Excelente 10
- Muy bueno 8
- Bueno 6
- Regular 4
- Deficiente 2

Los resultados obtenidos por el método de análisis dimensional se muestran a continuación.

Paso 1: Se crea una matriz para el desglose del proceso con los factores discutidos y ponderados según su importancia. Nuevamente, cada opción corresponde a los grados anteriores.

Tabla 5. Matriz para el Análisis Dimensional

Matriz para el Análisis Dimensional

Factor	Tipo	Ponderación	T	L	I	U
Mayor fluidez	Puntuación	4	6	6	4	6
Área total	Puntuación	3	4	8	8	6
Facilidad de evacuación	Puntuación	5	8	8	8	6
Cantidad de personas	Puntuación	4	8	8	8	4
Ergonomía del trabajador	Puntuación	4	4	8	8	6

Nota. La Tabla 5 muestra la matriz inicial o de referencia utilizada para realizar el análisis dimensional para determinar la distribución óptima del flujo del proceso.

Paso 2: Paso 2: Después de preparar la matriz, evalúe el plan de implementación de cada proceso. Como mencionan los autores (Díaz, B., Jarufe, B., & Noriega, M., 2007) en su libro Plant Arrangement, recuerda que, si el resultado es menor a 1, hay una opción válida en el contador. es la mejor, de lo contrario, si el puntaje es mayor a 1, la opción del denominador es la mejor. Para ello utilizaremos la siguiente fórmula del libro del autor.

$$\prod_{j=1}^n \left[\frac{SA_j}{SB_j} \right]^{P_j}$$

Donde:

- Π: Es la multiplicadora.
- A y B son las opciones que se comparan.

A continuación, se puede apreciar los resultados de la comparación entre cada una de las opciones.

Tabla 6. Comparación entre la opción T y L

Comparación entre la opción T y L				
Factor	Tipo	Ponderación	T	L
Mayor fluidez	Puntuación	4	6	6
Área total	Puntuación	3	4	8
Facilidad de evacuación	Puntuación	5	8	8
Cantidad de personas	Puntuación	4	8	8
Ergonomía del trabajador	Puntuación	4	4	8
	Puntaje		0,007813	

Nota. La Tabla 6 muestra la comparación de las opciones T y L para determinar la asignación óptima del proceso.

Conclusión: Al ser el resultado menor que 1, la mejor opción es una distribución en T

Tabla 7. Comparación entre la opción T e I

Comparación entre la opción T e I				
Factor	Tipo	Ponderación	T	I
Mayor fluidez	Puntuación	4	6	4
Área total	Puntuación	3	4	8
Facilidad de evacuación	Puntuación	5	8	8
Cantidad de personas	Puntuación	4	8	8
Ergonomía del trabajador	Puntuación	4	4	8
	Puntaje		0,039551	

Nota. La Tabla 7 muestra la comparación de la Variante T y la Variante I para determinar la asignación óptima del proceso.

Conclusión: De igual manera el resultado obtenido es menor que 1, por lo tanto, la mejor opción sigue siendo una distribución en T.

Tabla 8. Comparación entre la opción T y U

Comparación entre la opción T y U				
Factor	Tipo	Ponderación	T	U
Mayor fluidez	Puntuación	4	6	6
Área total	Puntuación	3	4	6
Facilidad de evacuación	Puntuación	5	8	6
Cantidad de personas	Puntuación	4	8	4
Ergonomía del trabajador	Puntuación	4	4	6
	Puntaje		3,946161	

Nota. La Tabla 8 muestra una comparación de las opciones T y U para determinar la distribución óptima del flujo del proceso.

Conclusión: Al realizar la última comparación, podemos apreciar que el resultado es mayor a 1, lo que significa que la mejor opción es la distribución en U.

Después de utilizar el método de análisis dimensional, finalmente concluimos que la mejor opción para este proceso es la distribución U.

Después de aplicar el método a cada paso del proceso de fermentación, obtenemos los siguientes requisitos de espacio:

Tabla 9. Área Total Requerida por Actividad

Área Total Requerida por Actividad

Áreas de trabajo	de Actividad	Área requerida (m2)
	Lavado y desinfectado	2.03
1		
2	Molienda de granos	0.56
3	Maceración	3.36
	Cocción	
4	Enfriamiento	1.06
	Fermentación	
	Maduración	
5	Carbonatación	1.16
	Embotellado	
6	Almacenaje	0.88
	Total	9.05

Nota. Los resultados que se muestran en la tabla 9 fueron obtenidos después de la aplicación del método.

Como se puede observar en la tabla, considerando el área original de 14,03 metros cuadrados, el área total requerida para llevar a cabo el proceso de producción de cerveza tirada es de 9,05 metros cuadrados.

Finalmente, se utilizarán técnicas relacionales entre actividades para proponer una mejor planificación y, en definitiva, optimizar las distancias entre las áreas que componen el proceso. Paso 1: Diagrama de relación

La lista de actividades citada por los autores (Díaz, B., Jarufe, B., & Noriega, M., 2007) nos dará información sobre qué actividades deben estar cerca o próximas a cada actividad que se realice. La tabla relacional activa tiene dos componentes:

- ❖ Tabla de valor de proximidad.
- ❖ Listado de razones o motivos.

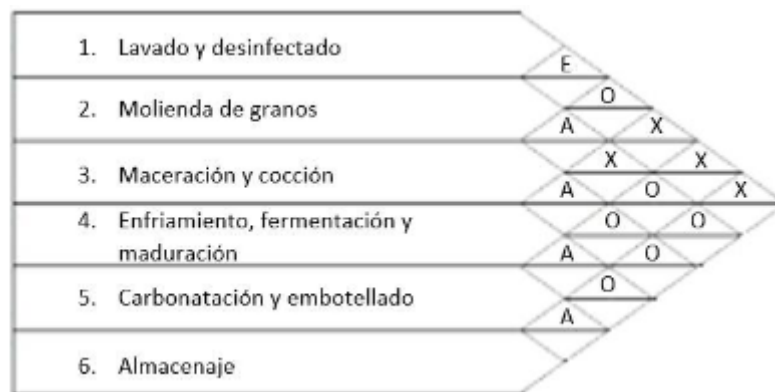
Para ello, emplearemos las siguientes tablas:

Tabla 10. Tabla relacional

Tabla relacional	
CÓDIGO	VALOR DE PROXIMIDAD
A	Absolutamente necesario
E	Especialmente necesario
I	Importante
O	Normal
U	Sin importancia
X	No recomendable

Nota. Recuperado del libro Disposición de Planta – Bertha Díaz (2007)

Figura 6. Tabla Relacional



En conclusión, se obtienen:

A: (2,3) (3,4) (4,5) (5,6)

E: (1,2)

I: -

O: (1,3) (2,5) (2,6) (3,5) (3,6) (4,6)

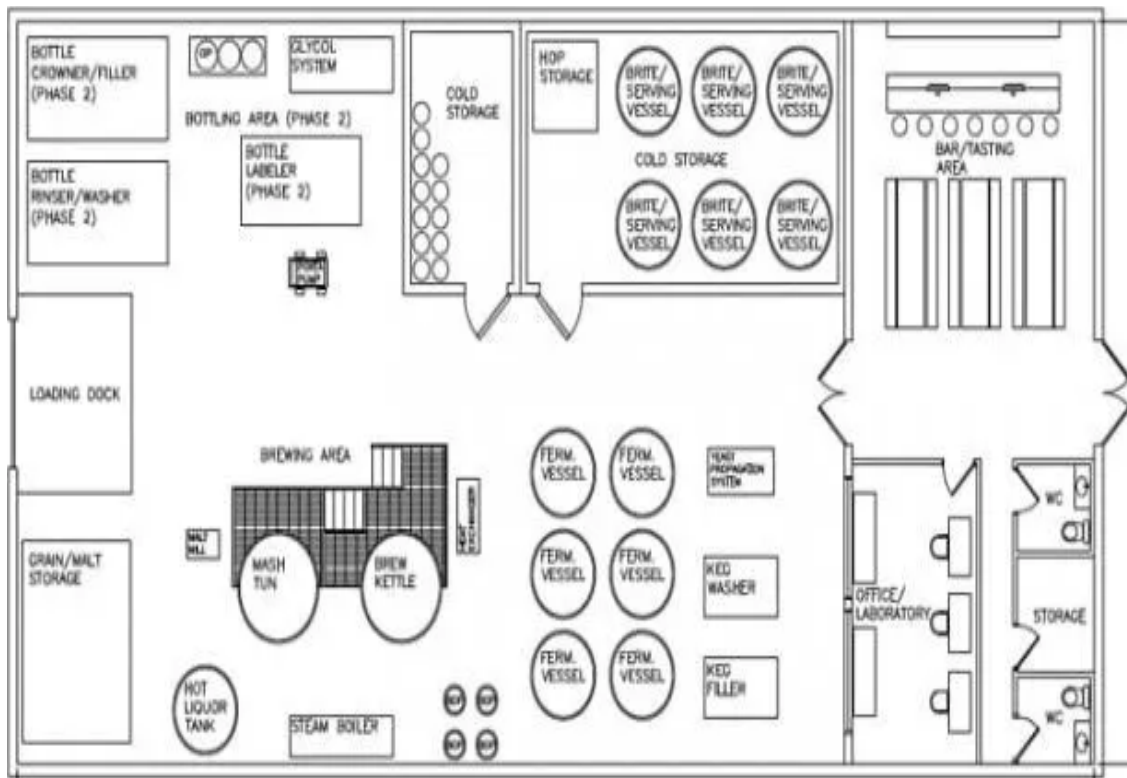
U: -

X: (1,4) (1,5) (1,6) (2,4)

CAPÍTULO IV RESULTADOS

El primer resultado de las propuestas de mejora de procesos es la mejora del espacio utilizado para el proceso productivo. El tamaño inicial es de 14,03 m², el tamaño recomendado es de 9,05 m². Esto significa que el área óptima es de 4,98 m². El nuevo arreglo, incluidos los bienes (equipos) utilizados en el proceso de producción, se muestra a continuación.

Ilustración 1. Disposición de planta.



Mediante el uso de un nuevo diseño de equipo, el rendimiento del DAP se puede mejorar en comparación con el DAP en la fase de diagnóstico.

DAP ANALISIS DE PROCESO PRODUCTIVO							
ELABORADO POR: Marcos Rodríguez		MÉTODO:		ACTUAL	X	PROPUESTA	
Empresa: Cervecería EL Rey		FECHA:					
DUEÑO DEL PROCESO: jefe de producción		ACTIVIDAD: Producción de cerveza					
DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	Símbolos					TIEMPO (HRS)	DISTANCIA (M)
	●	➔	◐	■	▼		
1. Retirar insumos y materiales					●	0,1	
2. Traslado		●				0,025	4,22
3. Lavado y desinfectado	●					0,98	
4. Traslado		●				0,01	
5. Molienda de granos	●					1,53	
6. Traslado		●				0,01	1,78
7. Maceración	●					1,6	
8. Traslado		●				0,12	2,47
9. Cocción	●					1	
10. Inspección					●	0,03	
11. Traslado		●				0,1	1,34
12. Enfriamiento	●					0,5	
13. Inspección					●	0,03	
14. Fermentación	●					168	1000
15. Maduración	●					144	1,5
16. Traslado		●				0,15	1,02
17. Carbonatación	●					120	

Una vez completado el diagrama analítico del proceso propuesto, podemos calcular la eficiencia. Los beneficios de eficiencia descritos se basan en las actividades en las que participa el operador.

Tabla 11. Cálculo de la productividad de la propuesta.

Producción por estilo	=	100	litros
Tiempo empleado	=	9,84	horas hombre
Productividad	=	10,16	L/HH

Después de calcular la eficiencia de alimentación, comparamos el caudal (8,33 L/h) con el valor recomendado (10,16 L/h) y observamos un aumento de 1,83 L/h. Esto significa que la productividad se puede aumentar en un 21,97%.

4.1 Análisis y discusión

A partir de los resultados obtenidos, aprobamos la hipótesis general que establece que se daría un incremento a la productividad en 21,97% en el proceso de elaboración con la aplicación de la metodología DMAIC.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- ❖ Al implementar la propuesta del método DMAIC, es decir, las cinco fases del método DMAIC, se podrá controlar, reducir y/o eliminar las interrupciones que experimentan las empresas, lo que redundará en un aumento de la productividad. El enfoque se implementará estableciendo, implementando y manteniendo lineamientos, procedimientos, instrucciones y fórmulas.
- ❖ Estos documentos necesitan ser actualizados ya que se conservan y mejoran con el tiempo.
- ❖ Para la implementación de las propuestas de implementación en la fase de desarrollo, nos basamos en la aplicación de tecnología de distribución para determinar el espacio requerido para el proceso de producción y para implementar la asignación de nuevas instalaciones para evitar formas innecesarias de reducir el tiempo de transporte.
- ❖ Al ofrecer el método DMAIC y el nuevo suministro de plata, es posible aumentar la productividad en un 21,97 %, ya que la producción por hora se puede aumentar de 8,33 litros por hora a 10,16 litros por hora. Esto se debe a un mejor uso de los recursos y el espacio durante la producción.
- ❖ Utilizando el nuevo esquema de distribución de fábrica, se puede aumentar el área útil total para el proceso de producción en 4,98 metros cuadrados. Esto es por qué; análisis dimensional, método DMAIC y técnica de relación de actividad.

5.2 RECOMENDACIONES

- Si la propuesta de mejora se aplica a un proceso de fabricación, se recomienda recopilar la mayor cantidad posible de información precisa sobre el proceso para obtener una visión general precisa.
- Para ello podemos utilizar diferentes herramientas, unas para recoger datos y otras para ver el proceso.
- Si el suministro afecta la duración del proceso de producción, es mejor utilizar métodos de sincronización para lograr un proceso más preciso o tiempo de entrega para cada actividad.
- Para la implementación de DMAIC propuesta en este trabajo de investigación, se recomienda utilizar métodos específicamente relacionados con cada paso del método para asegurar una mejor implementación.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, R. (2002). *Manufactura Delgada (Lean) y Seis Sigma en empresas mexicanas: experiencias y reflexiones*. Contaduría y Administración.
- Díaz, B., Jarufe, B., & Noriega, M. (2007). *Disposición de planta*. Lima: Universidad de Lima.
- García, R. (2011). *Estudio del trabajo* (Segunda ed.). México: Mc Graw Hill. Recuperado el 19. doi: https://faabenavides.files.wordpress.com/2011/03/estudio-del-trabajo_ingenierc3ada-de-mc3a9todos-roberto-garcc3ada-criollo-mcgraw_hill.pdf
- Hambleton, L. (2007). *Cofre del tesoro de Six Sigma Métodos de crecimiento, herramientas y mejores prácticas*. . New York.: Pearson Education.
- Levine, B. y. (2006). *Estadística para administración*. Pearson.
- Pavón, O. (2012). *Integrando la Metodología DMAIC de Seis Sigma con la Simulación de Eventos Discretos en Flexsim*. Panama: LACCEI.
- Prokopenko, J. (1989). *La Gestión de la productividad*. Ginebra: Organización Internacional del Trabajo.
- Ramírez. (2002). *Centro de la Industria Virtual*. Obtenido de Centro de la Industria Virtual.: www.civ.cl/academico/rodrigo/Diagrama%20de%20Causa%20EfectoIshikawa.doc diagrama causa efecto
- Roberto Carro Paz & Daniel González Gómez. (2019). *Productividad y Competitividad*. Buenos Aires: Universidad de Mar de Plata. Obtenido de http://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/1607/1/02_productividad_competitividad.pdf
- Rooney & Vanden Heuvel. (2004). *Root Cause Analysis For Beginners*.
- Shankar, R. (2009). *Process Improvement Using Six Sigma*. . ASQ.
- Stavrakas, D. &. (2011). *Behold the Bullet List. Quality Progress*. . El prisma.
- Universidad Nacional Autónoma de México, (s.f.). (s.f.). Áreas de mejora en una PYME de alimentos. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/73/A5.pdf?>