



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

DISEÑO DE UN PLAN DE MEJORA PARA REDUCIR LA MERMA DE GAS CARBÓNICO (CO₂) A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA *LEAN MANUFACTURING*, EN UNA PLANTA DE BEBIDAS CARBONATADAS UBICADA EN RÍO HONDO, ZACAPA, GUATEMALA

Valery Guissele López Guerra

Asesorado por el M.A. Ing. Lopsany Alfonso Godínez Guerrero

Guatemala, septiembre de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE UN PLAN DE MEJORA PARA REDUCIR LA MERMA DE GAS CARBÓNICO (CO₂) A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA *LEAN MANUFACTURING*, EN UNA PLANTA DE BEBIDAS CARBONATADAS UBICADA EN RÍO HONDO, ZACAPA, GUATEMALA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

VALERY GUISELE LÓPEZ GUERRA

ASESORADO POR EL M.A. ING. LOPSANY ALFONSO GODÍNEZ
GUERRERO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO a.i.	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
EXAMINADOR	Ing. Gerardo Ordoñez
EXAMINADORA	Inga. Ana Gloria Montes Peña
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE UN PLAN DE MEJORA PARA REDUCIR LA MERMA DE GAS CARBÓNICO (CO₂) A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA *LEAN MANUFACTURING*, EN UNA PLANTA DE BEBIDAS CARBONATADAS UBICADA EN RÍO HONDO, ZACAPA, GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha de mayo de 2022.

Valery Guissele López Guerra



EEPM-PP-1886-2022

Guatemala, 11 de noviembre de 2022

Director
Williams G. Álvarez Mejía
Escuela De Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ing. Álvarez

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE UN PLAN DE MEJORA PARA REDUCIR LA MERMA DE GAS CARBONICO (CO2) A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA LEAN MANUFACTURING EN UNA PLANTA DE BEBIDAS CARBONATADAS UBICADA EN RIO HONDO, ZACAPA, GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Área de Operaciones - Optimización de operaciones y procesos**, presentado por la estudiante **Valery Guissele Lopez Guerra** carné número **201700310**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Gestion Industrial.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Lopsany Alfonso Godínez Guerrero
Asesor(a)

Lopsany Alfonso Godínez Guerrero
Ingeniero Civil
Maestría en Administración Financiera
Colegiado: 5526

Mtro. Carlos Humberto Aroche Sandoval
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP.EIQ.1531.2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Quimica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE UN PLAN DE MEJORA PARA REDUCIR LA MERMA DE GAS CARBONICO (CO2) A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA LEAN MANUFACTURING EN UNA PLANTA DE BEBIDAS CARBONATADAS UBICADA EN RIO HONDO, ZACAPA, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Valery Guissele Lopez Guerra**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Williams G. Álvarez Mejía; Mg.I.Q., M.U.I.E.
Director
Escuela De Ingenieria Quimica

Guatemala, noviembre de 2022



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.69.2023

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN PLAN DE MEJORA PARA REDUCIR LA MERMA DE GAS CARBONICO (CO₂) A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA LEAN MANUFACTURING EN UNA PLANTA DE BEBIDAS CARBONATADAS UBICADA EN RIO HONDO, ZACAPA, GUATEMALA**, presentado por: **Valery Guissele Lopez Guerra** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado electrónicamente por: José Francisco Gómez Rivera
Motivo: Orden de impresión
Fecha: 14/09/2023 05:58:08
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, septiembre de 2023

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2023 Correlativo: 69 CUI: 2997568740101

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Porque a lo largo de mi vida me ha enseñado que debo hacerme cargo de lo posible, pues Él se encarga de lo imposible.
- Mis padres** A quienes admiro, quiero y siempre me han enseñado excelentes valores, como el estar unidos en familia, luchar por nuestras metas, así como por instruirme a pescar y no esperar a que me den el pescado. Gracias padres por su interminable paciencia, gracias por sus consejos y apoyo.
- Mi hermana** Gracias por siempre estar cuando más la necesité, por ayudarme, alentarme y no dejarme sola.
- Mis amigos** Gracias porque están conmigo siempre, dándome la fuerza para continuar.
- Mi compañera** Mi angelito que cambio mi vida, *Molly*, gracias por acompañarme en todas mis madrugadas y siempre esperarme con tanto amor.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser una casa de estudios que siempre recordaré.
Facultad de Ingeniería	Al personal administrativo y docente, por su labor diaria para mejorar y comprometerse con la educación de buenos profesionales.
Mis amigos de la Facultad	Por su apoyo incondicional.
Familia y amigos en general	Por brindarme apoyo y estar presentes en mis metas y logros.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Descripción del problema	9
3.2. Formulación del problema	10
3.2.1. Pregunta central.....	10
3.2.2. Preguntas de investigación	10
3.3. Delimitación de estudio	11
3.3.1. Límite temporal	11
3.3.2. Límite geográfico.....	11
3.3.3. Límite espacial	11
3.4. Viabilidad	12
3.5. Consecuencias de realizar la investigación	12
3.5.1. De realizarse	12
3.5.2. De no realizarse	13
4. JUSTIFICACIÓN	15

5.	OBJETIVOS.....	17
5.1.	General.....	17
5.2.	Específicos	17
6.	NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	19
7.	MARCO TEÓRICO	21
7.1.	Generalidades de la empresa.....	21
7.1.1.	Ubicación.....	21
7.1.2.	Misión	21
7.1.3.	Visión.....	21
7.1.4.	Valores	21
7.1.5.	Reseña histórica.....	22
7.2.	Gas carbónico (CO ₂)	24
7.2.1.	Carbonatación	25
7.2.2.	Descarga de CO ₂	25
7.2.3.	Sistema de tuberías.....	27
7.3.	<i>Lean Manufacturing</i>	27
7.3.1.	Trabajo estandarizado	28
7.3.2.	Mantenimiento productivo total (TPM)	29
7.3.2.1.	Mantenimiento preventivo	30
7.3.2.2.	Mantenimiento correctivo	30
7.3.2.3.	Mantenimiento autónomo	30
7.3.2.4.	Capacitación.....	31
7.3.3.	Metodología SMED.....	32
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO	35
9.	METODOLOGÍA	37

9.1.	Enfoque	37
9.2.	Diseño.....	37
9.3.	Tipo.....	38
9.4.	Alcance	38
9.5.	Variables.....	38
9.5.1.	Variable cuantitativa.....	39
9.5.2.	Variable cualitativa	39
9.6.	Matriz de consistencia	40
9.7.	Fases del estudio.....	41
9.8.	Población y muestra	42
9.8.1.	Población	43
9.8.2.	La muestra	43
9.9.	Técnicas de recolección	44
9.9.1.	Registro de información	45
9.9.2.	Observación.....	45
9.9.3.	Lista de verificación.....	45
9.10.	Resultados esperados	45
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS	47
10.1.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	47
10.2.	Herramientas estadísticas	47
10.2.1.	Media	48
10.2.2.	Desviación estándar.....	48
10.2.3.	Registro de información	49
10.2.4.	Descripción de procedimientos de análisis	49
11.	CRONOGRAMA.....	51
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	53

13. REFERENCIAS	55
APÉNDICES.....	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de solución	20
2.	Planta embotelladora	23
3.	Tanque pulmón de gas carbónico (CO ₂)	26
4.	Descarga de gas carbónico (CO ₂).....	26

TABLAS

I.	Matriz de consistencia	40
II.	Cronograma de actividades	51
III.	Costos para desarrollo de la investigación.....	53

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
CPcc	Costo de producción
CI	Costos indirectos
CO₂	Gas carbónico
°	Grados
h	Horas
MOD	Mano de obra directa
MP	Materia prima
%	Porcentaje

GLOSARIO

Eficiencia	Capacidad de efectuar un proceso con la mínima cantidad de recursos y de tiempo.
Fluctuación	Variación que experimenta una magnitud física respecto de su valor medio.
Flujo	Medida de la masa de un fluido o gas más allá de un punto fijo, en un marco de tiempo específico.
Materia prima	Recursos que se encuentran en su estado natural y que es utilizado en la producción o manufactura de materiales o artículos más complejos.
Merma	Pérdida o reducción de un cierto número de mercancías, que provoca fluctuación y conlleva una pérdida monetaria.
Proceso	Conjunto de pasos organizados y sistematizados cuyo fin es alcanzar un objetivo determinado.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación propone un plan de mejora para reducir la merma de gas carbónico (CO₂) en una planta embotelladora de bebidas carbonatadas, ubicada en Río Hondo, Zacapa, Guatemala. Además, pretende dar solución a la generación de la merma de CO₂ en el momento de la descarga y en el sistema de tuberías.

En este estudio se identificaron las razones por las cuales ocurre la merma de CO₂; alguna de ellas es la falta de procedimientos estandarizados en la entrega del gas carbónico y durante el recorrido en el sistema de tuberías. Estos juegan un rol vital en el incremento del costo de producción, específicamente en el costo de dicha materia prima.

Cada uno de estos casos se analizaron mediante la observación y anotación de variables como la cantidad de CO₂ que se pierde, así como el costo de producción elevado por los pedidos no programados de dicho insumo. Ante esto, se sugirió un plan de mejora por medio de las técnicas de *Lean Manufacturing*, que ayuden a reducir la merma de CO₂ y, por lo tanto, la reducción del costo de producción.

La importancia de este diseño es lograr la reducción de merma por medio de procedimientos estandarizados, mantenimiento en el sistema de tuberías para evitar fugas, así como en la maquinaria y capacitación de los operarios, para que estén preparados cuando realicen el mantenimiento preventivo y correctivo.

1. INTRODUCCIÓN

Esta investigación de sistematización está elaborada con base en la línea de investigación, en el área de operaciones de la Maestría en Gestión Industrial de la Facultad de Ingeniería. Tiene como objetivo diseñar un plan de mejora para reducir la merma de gas carbónico (CO_2) en las líneas de producción de una planta embotelladora de bebidas carbonatadas, ubicada en Río Hondo, Zacapa, Guatemala. El plan de mejora se efectuará por medio de la metodología *Lean Manufacturing*.

La problemática detectada en el proceso de producción de la planta embotelladora tiene un impacto directo en el consumo descontrolado de la materia prima, en este caso el gas carbónico (CO_2), ya que debido a este problema se generan pedidos no programados de este insumo. El problema detectado en la planta embotelladora radica en que no existe supervisión de los procedimientos al momento de la descarga de gas carbónico (CO_2) en el tanque de la planta. Tampoco cuenta con herramientas de registros, donde se pueda llevar una bitácora para anotar el peso del camión cisterna en la entrada y salida de la planta; también carece de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria y tuberías. Solo tiene un plan correctivo, por lo que no se puede aprovechar el uso eficiente del gas carbónico (CO_2).

La importancia de esta investigación es implementar un plan de mejora para lograr reducir la merma de gas carbónico (CO_2) en las líneas de producción, lo que tendrá un impacto positivo en el costo de producción; al mismo tiempo, mantener la maquinaria y tubería en óptimas condiciones.

También se pretenden estandarizar los procesos del mantenimiento preventivo y capacitar a los operadores para convertirlos en polifuncionales.

Se espera obtener como resultados la optimización del uso de gas carbónico (CO₂) con la disminución de la merma de este insumo, mejorar el proceso de descarga y aumentar la confiabilidad de la maquinaria y tuberías. Además, implementar un nuevo formato de registro que permita llevar una bitácora de las entregas de gas carbónico en la planta; todo esto, para mantener un proceso estable en las líneas de producción.

En el esquema de solución se utilizarán métodos teóricos, ya que contribuyen a una mejor comprensión de cómo operan las empresas embotelladoras de bebidas carbonatadas. También se utilizarán métodos experimentales para definir los parámetros correctos y mantener un proceso estable, con la menor variabilidad posible, cumpliendo así con los requisitos de calidad.

El desarrollo integral de la investigación consta de cuatro capítulos mencionados en el índice propuesto, los cuales se detallan a continuación:

El capítulo uno corresponde al marco teórico, que abarca las generalidades de la empresa en cuestión, la unidad de análisis como lo es el gas carbónico (CO₂) que se utiliza en la planta de producción, específicamente en el área de descarga y en el sistema de tuberías y, por último, las herramientas de *Lean Manufacturing* para que ayuden a reducir la merma de gas carbónico.

El capítulo dos corresponde al desarrollo de la investigación, donde se muestran las fases del estudio que ayudarán a llevar a cabo esta investigación, las cuales servirán para recopilar toda la información mediante el uso de las técnicas de recolección de datos. Luego, estos datos deben ser consolidados para analizarlos y evaluar qué herramientas ayudarán en la reducción de la merma en las líneas de producción.

En el capítulo tres se muestran los resultados obtenidos después de la implementación del plan de mejora, para reducir la merma de gas carbónico en las líneas de producción en la planta embotelladora. Se da a conocer el método que comprende: el tipo, nivel y diseño de la investigación, la población y muestra, técnicas e instrumentos de la investigación, la descripción del procesamiento y análisis estadístico de los datos.

En el capítulo cuatro se presentan los resultados mediante tablas de frecuencia y figuras de la muestra antes y después de la mejora, así como las estadísticas de las variables involucradas como lo son la merma de CO₂ en el momento de la descarga y por fugas en el sistema de tuberías. Asimismo, el costo de la merma antes y después.

Al final, se establecen las conclusiones, acompañadas de sus respectivas recomendaciones, anotando las referencias bibliográficas consultadas en el desarrollo de la investigación.

2. ANTECEDENTES

Para el presente trabajo de investigación se revisaron estudios anteriores que datan del 2017 al 2021, que se fundamentan en la importancia de la implementación de métodos para la mejora en la reducción de mermas en empresas dedicadas a la elaboración de bebidas carbonatadas; con la finalidad de revisar la factibilidad de esta investigación, dichos estudios serán un apoyo y una guía para la investigación que se llevará a cabo. Entre los estudios destacados en el tema de referencia se mencionan los siguientes:

Llontop, Viacava y Málaga (2018) describen en su tesis de maestría que la metodología de *Lean Manufacturing* se enfoca en reducir los desperdicios en los procesos de producción, como sobreproducción, tiempo de espera y potencial humano subutilizado, entre otros. Al eliminar el desperdicio, se mejora la calidad y se reducen el tiempo y los costos de producción. El aporte de este estudio es conocer las herramientas de *Lean*, para aplicar las idóneas en cuanto a reducción de merma en una empresa de bebidas carbonatadas.

De León (2021) menciona que las herramientas de *Lean Manufacturing* ayudan a lograr propósitos específicos, como reducción de merma y reducción de fallas en los equipos, entre otras. Explica también que una adecuada gestión del mantenimiento permitirá al gerente de producción contar con los datos necesarios de su departamento, lo que ayudará a programar dichos mantenimientos preventivos de manera ordenada antes que ocurra una falla. Además, cada mejora que se pueda agregar al plan del proceso de mantenimiento reducirá los factores de riesgo por desperfectos. El aporte de este estudio es evaluar qué maquinaria y sistema de tuberías de la empresa

será sometido a observaciones, análisis y reparación, para garantizar su perfecto funcionamiento.

Torres (2019) menciona que el Mantenimiento de Producción Total (TPM) es una herramienta de Lean cuyo objetivo es minimizar las fallas en las máquinas y las reparaciones, así como el tiempo que lleva detener la producción y que todo vuelva a la normalidad. El TPM es de gran ayuda, ya que el orden y la limpieza de los equipos son fundamentales para evitar averías y se basa en tres pilares básicos: mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo.

Para aplicar esta herramienta sugiere capacitar a los operadores, para que sean los encargados de velar por cada máquina, por medio de la capacitación y así lograr trabajadores polifuncionales. La gestión Mantenimiento de Producción Total da como aporte de esta investigación en ser la herramienta participativa y ajustable, que ayude a mejorar constantemente la administración de las tareas programables de los operadores de cada máquina de la empresa.

Gómez (2021) aclara en su tesis de postgrado que el trabajo estandarizado es siempre hacer algo de la misma manera, siguiendo pautas establecidas para lograr resultados uniformes. A través de su implementación, es posible estabilizar y reducir los cambios que se identifican fácilmente en esta situación: defectos, desviaciones, no conformidades. El aporte para esta investigación es aplicar el trabajo estandarizado en una planta de bebidas carbonatadas, específicamente en el área de descarga de CO₂, para realizar un trabajo seguro, confiable y de alta calidad, tanto en la recepción de materia prima como en el área de producción.

Rojas y Soler (2017) mencionan en su tesis de maestría que el SMED es una metodología, cuyo objetivo es reducir el tiempo que tardan los empleados

en cambiar herramientas y maquinaria, lo que ayuda a adaptarse a cualquier tipo de imprevisto que surja durante la producción.

Cuando de cambio de herramientas o tiempos de preparación se trata, no sólo cuenta el efecto que ello tiene en los costos, los tiempos muertos de producción, sino también el prestar mejores servicios, aumentar la cantidad de operaciones y mejorar la utilización de la capacidad productiva por medio del seguimiento. (p. 15)

El aporte para esta investigación es adaptar, de mejor manera, las herramientas necesarias para el momento del mantenimiento, proveer a los encargados de estas tareas todo lo necesario para reducir el tiempo del mantenimiento y reparaciones, para tener un área de trabajo simplificada.

En la información presentada se observa el beneficio de utilizar las técnicas y herramientas de la metodología *Lean Manufacturing*, las cuales permiten implementar nuevos procedimientos a través del trabajo estandarizado, darle seguimiento al mantenimiento regular de la maquinaria y al sistema de tuberías, para evitar imprevistos de fugas o derrames y, al mismo tiempo, lograr trabajadores polifuncionales.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ausencia de control en cuanto a recepción de materia prima, causada por la falta supervisión y procedimientos estandarizados en el momento de la descarga de gas carbónico (CO₂), así como la carencia de un programa de mantenimiento preventivo en maquinarias y sistema de tuberías, han sido la causa de la generación de merma de gas carbónico (CO₂) en las líneas de producción de una planta embotelladora de bebidas carbonatadas, ubicada en Río Hondo, Zacapa, Guatemala.

3.1. Descripción del problema

La planta embotelladora reporta un alto porcentaje de merma de gas carbónico (CO₂) en las líneas de producción, identificado en varios puntos durante el proceso de producción y en el recorrido del sistema de tuberías. Dicho problema ha ocasionado varios impactos significativos en el uso descontrolado de este insumo, porque se utiliza mayor cantidad de materia prima para cumplir con el requerimiento solicitado en las líneas de producción.

La planta centra sus deficiencias en la ausencia de procedimientos estandarizados en la descarga de CO₂, así como por la falta de supervisión en el momento de efectuar dicha tarea. Lo anterior provoca que la descarga de este insumo sea descontrolada; al mismo tiempo carecen de un formato para el registro de información del peso del camión cisterna que provee el CO₂ a la planta.

En la etapa de la elaboración de las bebidas carbonatadas también se ha identificado la generación de merma de CO₂ por fugas en la tubería, codos y válvulas, lo cual es causado por la falta de un programa de mantenimiento preventivo, mientras que la falta de operadores polifuncionales es causado por la falta de capacitación.

3.2. Formulación del problema

A continuación, se procede a la formulación del problema, el cual estará estructurado por una pregunta central, y también será necesario apoyarse en tres preguntas auxiliares que ayudarán a formular una solución. Dichas preguntas serán la base para elaborar el objetivo general y los objetivos específicos, que servirán para encontrar una solución al presente proyecto de investigación.

3.2.1. Pregunta central

- ¿Cuál es la propuesta de solución para reducir la merma de gas carbónico (CO₂) en las líneas de producción, en una planta embotelladora de bebidas carbonatadas?

3.2.2. Preguntas de investigación

Para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cuál es el proceso en las líneas de producción que está ocasionando un alto porcentaje de merma de gas carbónico (CO₂), en una planta embotelladora de bebidas carbonatadas?

- ¿Cuáles son los factores que ocasionan el aumento de merma de gas carbónico (CO₂) en la descarga y el recorrido en las líneas de producción?
- ¿Cuáles son los indicadores de desempeño (KPI) de las herramientas de *Lean Manufacturing* que ayudan a reducir la merma de gas carbónico (CO₂) en las líneas de producción?

3.3. Delimitación de estudio

El trabajo de investigación se efectuará en una planta embotelladora de bebidas carbonatadas ubicada en el departamento de Zacapa, Guatemala, en el área de descarga de CO₂ y en el área de producción, específicamente en el sistema de tuberías y maquinaria.

3.3.1. Límite temporal

La ejecución de la investigación se llevará a cabo durante el mes de octubre de 2022 a mayo de 2023.

3.3.2. Límite geográfico

La empresa embotelladora de bebidas carbonatadas está ubicada en Río Hondo, Zacapa, Guatemala.

3.3.3. Límite espacial

El trabajo de investigación se realizará en el área de descarga de gas carbónico (CO₂) y en el sistema de tuberías del área de producción de la planta.

3.4. Viabilidad

Luego de realizada la factibilidad del estudio y elaborada la metodología, se considera viable el presente trabajo de investigación para el diseño de un plan de mejora para la reducción de merma de gas carbónico (CO₂), utilizando las técnicas de *Lean Manufacturing*, ya que dicho diseño logrará reducir los costos de producción a través de la reducción de merma en la descarga y el recorrido de CO₂.

3.5. Consecuencias de realizar la investigación

Con esta investigación se aportará una mejora en el uso del CO₂, controlado en el proceso de fabricación de las bebidas carbonatadas en la plana, por medio de la reducción de la merma de dicho insumo.

3.5.1. De realizarse

El objetivo de esta investigación es poder implementar un plan que reduzca la merma de gas carbónico (CO₂) en las líneas de producción, aplicando las herramientas de la metodología *Lean Manufacturing*; por lo tanto, los beneficios previstos de esta investigación serian el uso óptimo del gas carbónico al reducir la merma en las líneas de producción de la planta, el funcionamiento confiable de la maquinaria y tuberías y la mano de obra polifuncional.

3.5.2. De no realizarse

De no solucionar la problemática, la planta corre el riesgo de tener pérdidas considerables en el área de producción, lo cual tendrá un impacto negativo en los costos de producción debido pedidos no programados de esta materia prima. Además, seguirá con el porcentaje de gas carbónico (CO₂) elevado en y con desperfectos en las tuberías.

4. JUSTIFICACIÓN

La realización de la presente investigación se justifica en la línea de investigación del área de operaciones de la Maestría en Gestión Industrial de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Esta investigación se basa en diseñar un plan de mejora para la reducción de merma de gas carbónico (CO₂), en las líneas de producción de una planta embotelladora de bebidas carbonatadas.

Esta investigación consiste en reducir de manera considerable la merma de gas carbónico (CO₂) que se genera en las líneas de producción, por la falta de procedimientos estandarizados para la descarga de CO₂, y fugas en las tuberías por la falta de mantenimiento, lo que provoca pedidos no programados del insumo, afectando los costos de producción.

La importancia de esta investigación radica en la reducción de merma de gas carbónico (CO₂) en las líneas de producción, así como en la mejora de su programa de mantenimiento preventivo en la maquinaria y sistema de tuberías. Además, evidenciar si los procesos de descarga de CO₂ son estandarizados y diseñar un plan de capacitación para los operadores.

El propósito de esta investigación es proponer un plan de mejora, que sea capaz de identificar los puntos críticos en el proceso de producción donde se genera la merma de gas carbónico, y logre reducir, a través de la implementación de la metodología *Lean Manufacturing*, la merma de dicho insumo, obteniendo beneficios en la optimización de la maquinaria y tuberías, así como potenciar el uso de la materia prima.

Los beneficios que obtendrá la planta embotelladora con la siguiente investigación será la reducción de merma de gas carbónico (CO₂) en las líneas de producción, ya que con un plan de mejora se podrá tener un correcto control del proceso de producción, que permitirán asegurar que el gas carbónico (CO₂) tenga los parámetros correctos y, por lo tanto, no afecten en sabor o apariencia el producto final.

El beneficiario directo será la planta embotelladora, específicamente el área de producción, ya que servirá para mejorar la reducción de mermas de gas carbónico (CO₂) en las líneas de producción al implementar esta propuesta de mejora y, por ende, garantizará la calidad del producto terminado.

5. OBJETIVOS

5.1. General

- Diseñar una propuesta de solución para reducir la merma de gas carbónico (CO₂) en las líneas de producción, en una planta embotelladora de bebidas carbonatadas.

5.2. Específicos

- Realizar un diagnóstico que evalúe el proceso en las líneas de producción que ocasionan un alto porcentaje en la merma de gas carbónico (CO₂), en una planta embotelladora de bebidas carbonatadas
- Analizar los factores que provocan un alto porcentaje en la merma de gas carbónico (CO₂), en el proceso de descarga y recorrido en las líneas de producción.
- Establecer los indicadores de desempeño (KPI) de las herramientas de *Lean Manufacturing*, encaminados a reducir la merma de gas carbónico (CO₂) en las líneas de producción.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Con la ejecución de esta investigación se pretende cubrir y proponer un plan de mejora, que permita reducir la merma de CO₂ en las líneas de producción de una planta embotelladora. Asimismo, controlar la variabilidad del proceso para que estas no incidan en la generación de mermas, mejorando eficiencia, productividad y asegurar la calidad del proceso productivo.

Para el desarrollo de esta investigación se hará uso de distintos métodos y técnicas, las cuales se describen a continuación:

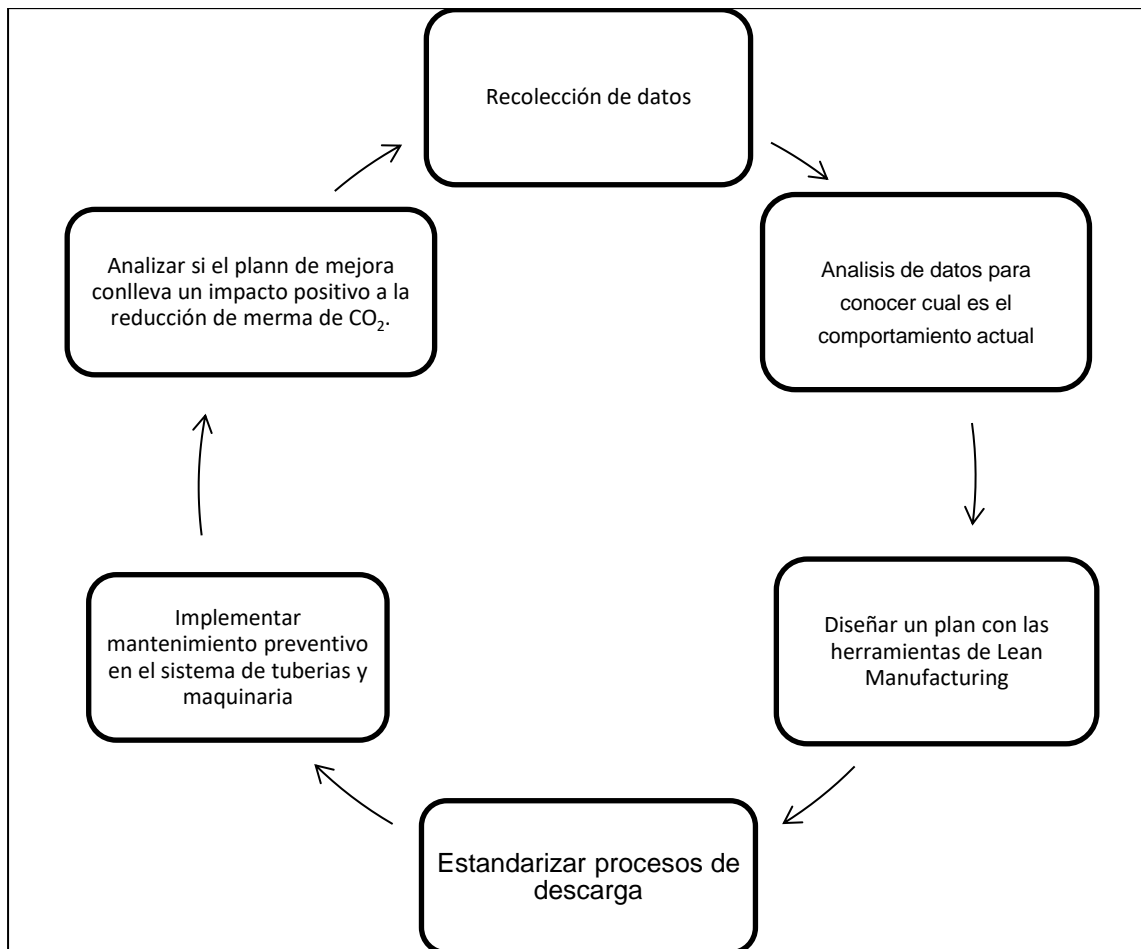
Inicialmente se utilizarán métodos teóricos para profundizar el conocimiento sobre el tema, utilizando artículos e investigaciones de industrias de bebidas carbonatadas, cuya base de preparación es el gas carbónico (CO₂), con lo cual se podrá definir en qué parte de las líneas de producción es donde comúnmente se genera la merma de dicha materia prima.

Por aparte, se hará una recolección de datos para conocer cuál es el comportamiento del proceso actual y determinar qué ajustes y parámetros son los necesarios para disminuir la merma en las líneas de producción. La etapa experimental de dicha investigación consiste en la realización del diagnóstico, donde se pondrá a prueba el proceso, con la finalidad de encontrar los puntos críticos.

Finalmente, se implementará el plan de mejora para reducir la merma de gas carbónico (CO₂), aplicando los indicadores de las herramientas de *Lean Manufacturing*, tales como la estandarización del proceso de descarga del CO₂

en la planta por medio de la herramienta del Trabajo Estandarizado. Además, se usará un formato de registro que permita llevar datos exactos del peso del camión cisterna, implementar el mantenimiento preventivo en la maquinaria y sistema de tuberías, aprovechando la mano de obra de los operadores, quienes deberán aprender a diagnosticar averías en los equipos que utilizan a diario a través de un plan de capacitación.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Generalidades de la empresa

La planta embotelladora fabrica y distribuye bebidas carbonatadas en el país, posicionándose como la marca preferida.

7.1.1. Ubicación

La planta se ubica en Río Hondo, Zacapa, Guatemala.

7.1.2. Misión

Satisfacer con excelencia a los consumidores de bebidas carbonatadas.

7.1.3. Visión

Ser el líder total de bebidas, que genere valor económico, social y ambiental sostenible, gestionando modelos de negocio innovadores y ganadores, con los mejores colaboradores en el mundo.

7.1.4. Valores

Son la clave para guiar la buena conducta día a día.

7.1.5. Reseña histórica

La bebida llegó a Guatemala en 1920, menciona Maticonera (2017) en ese momento, y fue embotellado y distribuido por United Fruit Company. En 1928 se construyó la primera planta embotelladora en Guatemala. Años más tarde renovó su franquicia, adquirida por Panamco Group en 1999. Posteriormente, adquirió el Grupo Panamco en el 2003.

En la década de 1960, los vinos de Mariani cobraron protagonismo en Estados Unidos. Su inventor, un químico italiano, mezcló el vino con la coca macerada y sacó al mercado esta refrescante bebida alcohólica. El éxito del vino Mariani inspiró a un farmacéutico, quien lo inventó y lo presentó el 5 de mayo de 1886 en Atlanta, Georgia. Decía que era un nuevo jarabe de refresco tónico, eficaz para fortalecer el cerebro y los nervios.

Mencionan Olaya y Trelles (2018) que originalmente ese jarabe se vendía mezclado con agua en una farmacia de Atlanta, llamada Jacob's. Cuenta la historia que un día un hombre tenía un dolor de cabeza tan terrible que, en lugar de beber jarabe con agua, lo tomó con gaseosa y dio como resultado una bebida espumosa. Para 1891, el primer dueño había muerto; Asa Griggs se convirtió en el segundo dueño, comprando la compañía por \$2,300.

Sus primeras ventas fueron de nueve vasos al día; la empresa llegó a producir 1300 millones de litros. De esta manera, se patentó y se vende en todo el mundo. En términos de ventas, una de las últimas cifras no oficiales calcula una producción aproximada de 45 000 botellas por segundo. En la actualidad, la compañía opera en 232 países, el nombre de la bebida ha sido traducido a más de 80 idiomas y es considerado el refresco más famoso del mundo. (Olaya y Trelles, 2018)

Estos datos históricos muestran que la forma especial de la botella permite identificar la bebida en todas las formas posibles, desde el reconocimiento por parte de una persona ciega, hasta su distinción al estar completamente rota. Se estima que un promedio de 8.5 millones de personas trabajan para esta empresa a nivel mundial. En Guatemala genera miles de empleos directos y otros indirectos a través de su red comercial y de distribución. A continuación, en la figura 2 se muestra una vista panorámica de la planta embotelladora ubicada en Río Hondo, Zacapa, Guatemala.

Figura 2. **Planta embotelladora**



Fuente: [Fotografía del Diario de Centroamérica]. (Planta embotelladora, 2020). Consultado el 2 de octubre de 2022. Recuperado de <https://dca.gob.gt/noticias-guatemala-diario-centro-america/coca-cola-femsa-hace-labor-social/>.

7.2. Gas carbónico (CO₂)

Para la elaboración de las bebidas carbonatadas se utiliza como uno de los ingredientes principales el gas carbónico (CO₂), el cual es distribuido por las líneas de producción de la planta, iniciando desde el tanque pulmón de CO₂.

Olaya y Treyes (2018) dicen que:

El CO₂ funciona en la elaboración de bebidas a través de una reacción llamada carbonatación, la cual ocurre durante el proceso de llenado a presiones que van desde 180 a 200 psi y -4 °C, cuando se agrega CO₂ en el jarabe terminado, ya está en el recipiente y reacciona químicamente con las moléculas de agua para formar ácido carbónico de la siguiente manera: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3$ (ácido carbónico).

El CO₂ se adiciona a la mezcla final de jarabe terminado en los carbonatadores y dado que en cada botella el gas está comprimido, cuando se destapa produce burbujas chispeantes. (p. 21)

Maticonera (2017) menciona que también actúa como conservante para levaduras, mohos y bacterias. Este debe ser de calidad, ya que afectaría el sabor del producto. La unidad de medida del CO₂ disuelto es el volumen de gas multiplicado por el volumen de líquido corregido a temperatura y presión normales (T = 0 °C y P = 101,325 kPa), llamado volumen de dióxido de carbono. La solubilidad del CO₂ en agua varía con la temperatura del agua y la presión del gas. También disminuye al aumentar la temperatura y sube al aumentar la presión.

7.2.1. Carbonatación

Según Maticonera (2017):

En este proceso, el jarabe terminado se mezcla con agua tratada hasta que la bebida alcanza los grados Brix, especificado en la formula. Luego, la bebida pasa a un carbonatador para enfriarse y mezclarse con CO₂, lo que se hace para aumentar la capacidad de la bebida para absorber gas. El proceso de carbonatación consiste básicamente en infundir CO₂ en la bebida terminada. Para ello, se tienen en cuenta los efectos de la temperatura del líquido y la presión del gas. Se sabe que los líquidos fríos absorben más dióxido de carbono que los líquidos calientes. Además, se satura a menor presión y es más estable, lo que reduce las fugas de gas y la formación de espuma durante el llenado. (p. 10)

7.2.2. Descarga de CO₂

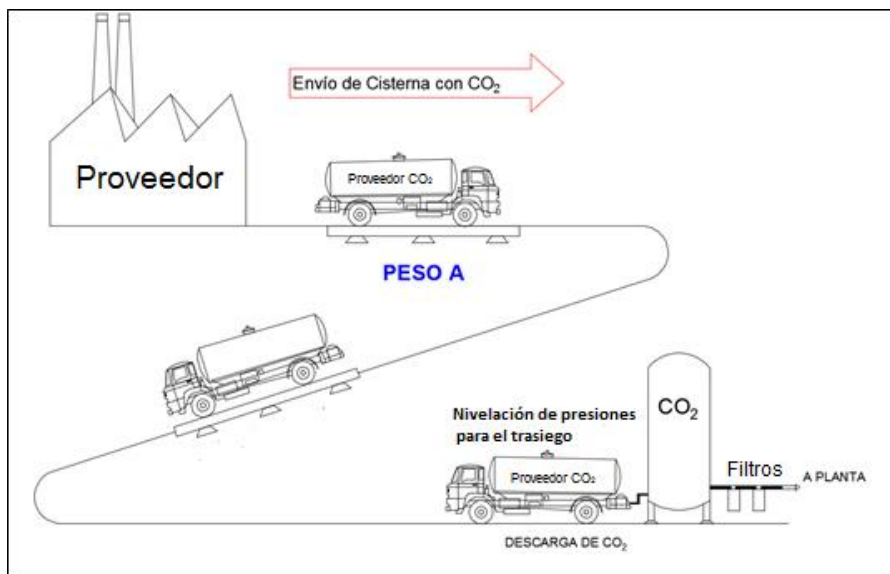
Olaya y Treyes (2018) mencionan que “para el suministro de CO₂, el proveedor local hace la entrega de CO₂ por semana, y brinda el servicio de camión cisterna y descarga en la planta, que se miden por peso a la salida de la fábrica” (p. 6). El proveedor descarga el CO₂ en un tanque pulmón en la planta embotelladora que se muestra en la figura 4, a una determinada presión (P= 240 PSI), por lo que se debe igualar la presión de la cisterna con la presión del tanque pulmón de planta, para poder hacer el trasiego como se puede ver en la figura 5. Para igualar la presión, se debe eliminar el CO₂ del camión, y se observa que esta eliminación es prolongada, descontrolada y sin supervisión.

Figura 3. **Tanque pulmón de gas carbónico (CO₂)**



Fuente: [Fotografía del Diario de Centroamérica]. (Planta embotelladora, 2020). Consultado el 2 de octubre de 2022. Recuperado de <https://dca.gob.gt/noticias-guatemala-diario-centro-america/coca-cola-femsa-hace-labor-social/>.

Figura 4. **Descarga de gas carbónico (CO₂)**



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

7.2.3. Sistema de tuberías

El CO₂ almacenado en los tanques es desviado a través de las tuberías en las líneas de producción. Durante esta transmisión se identifican fugas en codos, y válvulas que se filtran al medio ambiente a diario, lo que tiene implicaciones en la gestión de nuevas compras de CO₂ no planificadas. Dichas fugas no se pueden detectar a la vista, si no que durante la limpieza de los conductos. (Olaya y Treyes, 2018, p. 3)

7.3. Lean Manufacturing

Conocido como el modelo de Manufactura Esbelta, este tiene como objetivo aumentar la productividad de una empresa al simplificar las operaciones y reducir los costos.

Fernández (2018) menciona que:

La aplicación sistemática y habitual de un grupo de técnicas de fabricación encaminadas a mejorar el proceso de producción mediante la reducción de residuos, como procesos que consumen más recursos de los necesarios. Lean identifica los desperdicios de la cadena de producción y tiende a eliminar todo lo que no se debe hacer.

Lean Manufacturing se implementa en la práctica a por medio de una gran variedad de técnicas muy diferentes entre sí y que pueden implementarse de manera independiente o conjunta, según las características específicas de cada caso. Su aplicación debe ser objeto de un diagnóstico previo que establezca una hoja de ruta ideal. Estas técnicas se agrupan en tres grupos bien diferenciados, con el fin de

obtener una visión simplificada, ordenada y coherente de las mismas.
(p. 10)

7.3.1. Trabajo estandarizado

Cardona y Tirado (2017) dicen que el trabajo estandarizado es una de las herramientas *Lean* más poderosas, pero infrautilizadas. En este proceso, la observación marca el inicio del descubrimiento de residuos y el desarrollo eficiente de procesos estandarizados. Esta será una nueva base para las próximas mejoras y más, lo que permitirá un mejor proceso cada vez.

El aspecto clave no es solo el trabajo estandarizado, sino también la aplicación sistemática. Es necesario lograr un equilibrio entre dotar a los empleados de procedimientos algo rígidos y la posibilidad de innovar con ellos. La clave es involucrar a las personas en su desarrollo y contribuir a mejorarlos. La estandarización del trabajo aumenta la disciplina, una parte vital, pero a menudo olvidada de *Lean*.

Fernández (2018) agrega que:

Hay que tener en cuenta que los estándares son el punto de partida para evaluar los procesos y buscar oportunidades de mejora, por lo que es imposible que los expertos diseñen los mejores estándares para un proceso desde el principio. (p. 11)

Estos se logran a través de la intervención y aportes de quienes los aplican. Con la estandarización inicial, el proceso se estabiliza antes de la mejora continua.

Los beneficios de la estandarización de procesos son:

- Documentar el flujo actual de todos los turnos
- Reducir la variación del proceso
- Más fácil de capacitar a nuevos operadores
- Reducir los accidentes
- Establecer un punto de partida para las actividades de mejora continua

7.3.2. Mantenimiento Productivo Total (TPM)

Cardona y Tirado (2017) dicen que “TPM, que significa Mantenimiento Productivo Total, es una estrategia de mantenimiento industrial que alienta a todos los operadores a participar en el mantenimiento de rutina, en lugar de dejar solo la responsabilidad a los técnicos de mantenimiento” (p.17).

Calabuid (2017) menciona que en la década de 2000, el TPM se utilizó en la mayoría de las industrias y servicios, pero también se extendió a áreas administrativas, departamentos de ingeniería, investigación, diseño y desarrollo de nuevos productos, ventas, almacenes, talleres, laboratorios y más.

La amplia gama de métodos TPM se conoce como TPM de tercera generación. Esta expansión permite a las empresas, que aplican los principios generales de TPM, fortalecer los sistemas que utilizan para lograr sus objetivos a mediano y largo plazo, y mejorar aún más su competitividad.

Dice Bacigalupo (2021) que el propósito de aplicar esta herramienta es reducir el desperdicio de CO₂ al eliminar las fugas, al tiempo que permite una producción sin defectos al hacer de cada miembro del equipo un operador

versátil. Según el Mantenimiento Productivo Total, todos tienen que estar involucrados en la fábrica y todos están en su área.

7.3.2.1. Mantenimiento preventivo

Kress (2017) indica que, a través de diferentes variables, el mantenimiento preventivo proporciona informes permanentes sobre el estado y funcionamiento de la instalación. Para efectuar este tipo de mantenimiento es necesario conocer diferentes parámetros que pueden implicar temperatura, energía y vibración, entre otros. Debe estar preparado para comprender el proceso y comprender varios conceptos operativos, cada parámetro basado en la temperatura u otras variables que pueden afectar el equipo.

7.3.2.2. Mantenimiento correctivo

Se refiere al trabajo de mantenimiento realizado en tiempos planificados o no programados y, por lo tanto, es el proceso de tomar medidas inmediatas cuando se descubre un mal funcionamiento o falla que afecta la producción en operación.

7.3.2.3. Mantenimiento autónomo

Menciona García (2018) que el mantenimiento autónomo pretende que cada operario sepa diagnosticar y evitar que sus equipos lleguen a fallar; con esto no se espera que cada operario desempeñe el papel de un mecánico, pero conocen el funcionamiento del equipo que operan, ya que pasan la mayor parte del tiempo en el equipo y podrán identificar las diferencias en el proceso normal de su equipo mejor que cualquier mecánico. Dicho mantenimiento puede ayudar a:

- Informar de roturas de algunas piezas
- Errores en la manipulación
- Desorden
- Suciedad en el área de trabajo
- Instruir al operario en: limpiar, lubricar y revisar.

Dice Castro (2017) que esto se hace con la cooperación de los operadores. Incluye la realización de actividades rutinarias no profesionales tales como inspección, limpieza, lubricación, puesta a punto, estudios de mejora y análisis de fallos, entre otros. Es importante que los operadores estén capacitados y equipados para realizar estas funciones, por lo que deben tener un conocimiento completo del equipo que operan y las instalaciones en su entorno.

Sus asignaciones son:

- Limpieza e inspección de sistemas de equipos
- Eliminar las fuentes de contaminación
- Acceso mejorado a los sistemas de dispositivos
- Establecer un programa de lubricación
- Realizar la autocomprobación
- Mantener actividades de mejora continua

Para lograr el mantenimiento autónomo, se deberá capacitar a los operadores para efectuar dichas actividades.

7.3.2.4. Capacitación

Calabuig (2017) menciona que:

La filosofía de TPM es que todos los operarios son responsables del mantenimiento, lo que significa que todos deben saber qué hacer en caso de daño. Con la capacitación será cada vez más fácil, ya que los gerentes de mantenimiento pueden acceder a toda la información de forma remota. (p. 16)

7.3.3. Metodología SMED

Gallego y Chiquito (2017) definen:

SMED como un concepto que establece que cualquier cambio de matriz o puesta en marcha de un equipo no debe durar más de 10 minutos, lo que puede entenderse como un cambio de herramienta, es decir, el tiempo transcurrido desde la fabricación de la última pieza de la serie anterior hasta la finalización de la siguiente serie. La primera parte si esto es necesario para iniciar la configuración de la prueba. (p. 11)

SMED tiene cinco pasos:

- Observa y registra la secuencia de los cambios reales.
- “Aparte de las actividades internas y externas relacionadas con cambios, las internas son las que se realizan mientras el dispositivo está inactivo y las externas son las que se realizan mientras el dispositivo está en funcionamiento” (Cardona y Tirado, 2017, p. 20).
- Analizar si se pueden eliminar o reducir actividades internas como el retraso en la entrega de herramientas, tornillería difícil de extraer o desplazamientos a almacenes, entre otros.

- Observar y documentar el nuevo proceso de cambio.
- Estandarizar los nuevos procedimientos de conversión y capacitar al personal en los nuevos procedimientos.

“Esta metodología ayuda a cambiar rápidamente las herramientas y eliminar el tiempo de inactividad al realizar el mantenimiento de maquinaria y los sistemas de tubería” (Fernández, 2018, p. 15).

Las tareas que se deben conocer son las siguientes: operaciones de montaje y desmontaje, operaciones de manufactura, operaciones de ajuste y calibración de piezas.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Generalidades de la empresa

1.1.1. Ubicación

1.1.2. Misión

1.1.3. Visión

1.1.4. Valores

1.1.5. Reseña histórica

1.2. Gas carbónico (CO₂)

1.2.1. Carbonatación

1.2.2. Descarga de CO₂

1.2.3. Sistema de tuberías

1.3. Lean Manufacturing

1.3.1. Trabajo estandarizado

1.3.2. Mantenimiento Productivo Total (TPM)

1.3.2.1. Mantenimiento preventivo

1.3.2.2. Mantenimiento correctivo

1.3.2.3. Mantenimiento autónomo

1.3.2.4. Capacitación

1.3.3. Metodología SMED

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Fase uno: revisión documental

2.2. Fase dos: recolección de la información

2.3. Fase tres: análisis de la información

2.4. Fase cuatro: diseño de indicadores

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

9. METODOLOGÍA

En la presente sección se detalla la metodología que permitirá llevar a cabo el estudio de investigación. Se describe el estudio, las variables a analizar y en qué consiste cada fase, cómo estas ayudarán al desarrollo de esta propuesta, para reducir la merma de gas carbónico en una planta embotelladora de bebidas carbonatadas.

A continuación, se presentan las características del estudio.

9.1. Enfoque

El enfoque del estudio propuesto es mixto porque la información recopilada es secuencial, cuantificable y probatoria; es decir, se va a realizar una experimentación de las variables de merma y costo de producción. Por aparte, es cuantitativo, ya que se tienen fundamentos teóricos recuperados de estudios similares, los cuales se encuentran detallados en antecedentes.

9.2. Diseño

El diseño adoptado será no experimental, ya que este estudio se enfoca únicamente en el diseño de un plan que ayude a reducir la merma de gas carbónico (CO₂). Además, será transversal porque se estudiarán las variables del proceso de elaboración de bebidas carbonatadas, las cuales son reducción de merma y reducción de costos en el proceso de producción y se utilizarán herramientas de Lean para lograr los resultados.

9.3. Tipo

La presente investigación es de tipo cuantitativa-explicativa porque esta considera evaluar en qué medida mejora la reducción de merma de gas carbónico (CO₂), en el proceso de elaboración de bebidas carbonatadas a través de la aplicación de las herramientas de *Lean Manufacturing*, en una planta embotelladora de bebidas carbonatadas.

9.4. Alcance

El alcance del estudio será correlacional, dado que se intenta exponer cómo la aplicación de las herramientas afecta las variables, así como demostrar que estas tienen una relación directa con la generación de mermas en el proceso de producción y el incremento en los costos en la planta embotelladora de bebidas carbonatadas.

9.5. Variables

Las variables que se utilizarán para el análisis del presente trabajo de investigación son de tipo cuantitativa y cualitativa, pues se considerará el análisis de los datos de los periodos de mayo a septiembre del 2022 como base para determinar las causas de la merma de CO₂, en la planta embotelladora, así como los costos de producción durante ese periodo.

9.5.1. Variable cuantitativa

- Merma de CO₂: es la cantidad del insumo adquirido que no interviene en la producción de bebidas carbonatadas, ya que generalmente se pierde en el ambiente y representa gasto para la planta embotelladora, la cual se encuentra con la formula siguiente:

$$\text{Merma} = 100 \% - \% \text{ rendimiento}$$

9.5.2. Variable cualitativa

- Costo de producción: estimaciones monetarias de todos los gastos en que ha incurrido la empresa para la elaboración de un bien o servicio. Abarca lo referente a la materia prima, mano de obra y gastos indirectos de fabricación, el cual se encuentra con la siguiente formula:

$$CP_{CC} = MP + MOD + CI$$

Donde:

CPcc = costo de producción

MP = materia prima

MOD = mano de obra directa

CI = costos indirectos

9.6. Matriz de consistencia

La matriz de consistencia describirá de forma detallada las variables, el tipo de variable, indicador y la técnica de recolección que se utilizará durante la presente investigación.

Tabla I. **Matriz de consistencia**

Objetivos	Tipo de variable	Definición operacional	Indicadores	Técnicas de recolección
Realizar un diagnóstico que evalúe el proceso en las líneas de producción que ocasionan un alto porcentaje en la merma de gas carbónico (CO ₂), en una planta embotelladora de bebidas carbonatadas. Analizar los factores que provocan un alto porcentaje en la merma de gas carbónico (CO ₂), en el proceso de descarga y recorrido en las líneas de producción.	Variable cuantitativa	Cantidad de CO ₂ que no interviene en el proceso productivo representando gasto. Se pierde en el ambiente.	Merma = 100 % - % rendimiento	Registro de información: se realizará de manera manual, luego será consolidada en un programa de Excel. Observación: procedimientos, y fotografías de mantenimientos correctivos donde han encontrado fugas.
Establecer los indicadores de desempeño (KPI) de las herramientas de <i>Lean Manufacturing</i> , encaminados a reducir la merma de gas carbónico (CO ₂) en las líneas de producción.	Variable cualitativa	Desembolso monetario en la que incurre la empresa para la compra de materiales, pago de mano de obra y pagos de servicio para poder producir las bebidas carbonatadas.	CPcc = MP+MOD+CI	Observación: será utilizada por medio de la revisión de registros anteriores de compras programadas y no programadas de CO ₂

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

9.7. Fases del estudio

A continuación, se describen las cuatro fases que ayudarán a desarrollar dicha investigación, la cual se efectuará a través de toma y análisis de datos para posteriormente definir los parámetros correctos que minimicen la generación de merma de CO₂.

Las cuatro fases que permitirán cumplir los objetivos de la investigación deben de ejecutarse de la siguiente forma:

- Fase uno: revisión documental

La fase número uno corresponde a la revisión documental de todos los procesos en la descarga de gas carbónico, así como en el recorrido en las tuberías, para identificar los tipos de variables que afectan en la generación de merma de CO₂ y el incremento del costo de producción, con la ayuda de los registros del Departamento de compras y técnicos de la planta.

- Fase dos: recolección de la información

La segunda fase consiste en la recolección de datos desde mayo a septiembre, la cual proporcionará información acerca de cómo se encuentra el proceso. Permitirá encontrar la relación que existe entre las variables cualitativa y cuantitativa, como lo son generación de merma de CO₂ y el elevado costo de producción. Esta se realizará a través de la recopilación de los registros anteriores de compras programadas y no programadas de CO₂, así como el registro del mantenimiento correctivo de las fugas en el sistema de tuberías realizado por los técnicos de la planta embotelladora.

- Fase tres: análisis de información

En la tercera fase se analizará la información obtenida en la fase dos, por medio de la observación de registros estadísticos y gráficos de control de la planta, así como fotografías de fugas en codos y válvulas y registros del mantenimiento correctivo, las cuales servirán como prueba de que sí hay fugas en el sistema de tubería y con qué frecuencia sucede. Esto tiene el objetivo de definir cuál es la variabilidad del proceso y proponer las mejores técnicas de ingeniería que ayuden a la reducción de merma de CO₂.

- Fase cuatro: diseño de indicadores

En esta fase se formularán los indicadores para cada una de las áreas que tienen impacto en la generación de merma de CO₂, tanto en la descarga como en el recorrido en el sistema de tuberías, con el fin de encontrar las herramientas que ayudarán a reducir dicha merma y, por consiguiente, reducir el incremento en el costo de producción.

9.8. Población y muestra

La población en estudio será el gas carbónico que se utiliza para la elaboración de las bebidas carbonatadas en la planta de producción. La técnica que se utilizará será la recolección de datos de manera semanal, que serán estudiados para conocer el comportamiento del proceso en la descarga y el recorrido y, de esta manera, poder modificar las variables.

9.8.1. Población

Se tomarán los datos de las líneas de producción de la planta embotelladora objeto de estudio. Los meses de mediciones con que se contarán los resultados de los indicadores de gestión serán contabilizados de mayo a septiembre de 2022.

9.8.2. La muestra

La muestra va a ser a conveniencia, considerando los registros del mes de mayo a septiembre de 2022 (situación antes de la mejora) y los registros de los meses de octubre a diciembre, en donde se realizará la mejora, para poder identificar si efectivamente existe relación directa entre las variables de estudio.

Está comprendida por los resultados de cuatro meses; esta cantidad será obtenida a partir de la fórmula siguiente:

$$n = \frac{N * z^2 * p * q}{(N - 1) * e^2 + z^2 * p * q}$$

Donde:

n = muestra

z = nivel de confianza: 90 %

p = probabilidad de éxito: 50 %

q = probabilidad de fracaso: 50 %

e = nivel de error: 10 %

N = población

Tomando en cuenta el tamaño de la muestra de cuatro meses y sustituyendo los datos, se obtiene la siguiente muestra:

Variable	Valor
N	4
z	1.652
p	0.5
q	0.5
e	0.10
n	4

Se utilizó el método probabilístico para definir la cantidad de muestras de la variable pretest y N=4. Empleando la fórmula presentada y reemplazando datos:

$$n = \frac{4 * 1.65^2 * 0.5 * 0.5}{(4 - 1) * 0.10^2 + 1.65^2 * 0.5 * 0.5} = 20.25$$

9.9. Técnicas de recolección

Las técnicas de recolección de datos que se utilizarán en esta investigación será la observación por medio de registros anteriores de compras de CO₂, mantenimientos correctivos por fugas; al mismo tiempo, se efectuará el registro de información y lista de verificación, las cuales se describen a continuación.

9.9.1. Registro de información

Para el registro de información se hará de manera manual y luego será consolidada en un programa de Excel.

9.9.2. Observación

La técnica de observación será utilizada por medio de la revisión de registros anteriores de compras programadas y no programadas de CO₂, así como fotografías de mantenimientos correctivos anteriores donde se han encontrado fugas.

9.9.3. Lista de verificación

Ayudará a tener un mejor control en diversas tareas que deben seguirse en el mantenimiento de maquinaria y tuberías.

9.10. Resultados esperados

Los resultados esperados, luego de aplicada la metodología propuesta, es el diseño de un plan que ayude a reducir la merma de gas carbónico en las líneas de producción. Al mismo tiempo, aplicar procedimientos estandarizados de descarga y capacitar al personal en cuanto al correcto mantenimiento de la maquinaria y sistema de tuberías.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

A continuación, se desarrollarán las técnicas de análisis correspondientes que se utilizarán y que avalará el presente trabajo de investigación para el análisis de los datos recolectados.

10.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para llevar a cabo la observación se tomarán en cuenta los registros de consumo de CO₂ en todas las fases del proceso productivo, así como la identificación de los puntos en donde se podrían hallar las pérdidas de este insumo.

La técnica de lista de verificación se utilizará para recopilar datos de movimientos durante todos los procesos de en las líneas de producción, con la finalidad de analizar, controlar, comparar y evaluar la producción y su variación pre y postest del estudio.

10.2. Herramientas estadísticas

En este estudio se utilizarán series de tiempo, ya que esto analizará los datos disponibles para el período que cubre este trabajo.

10.2.1. Media

Para la utilización de esta herramienta estadística se analizarán los datos históricos de los periodos de mayo a septiembre del 2022, con los cuales se determinará la tendencia en cuanto al nivel de la elevación de merma de CO₂. Se utilizará la siguiente formula:

$$\text{Media aritmética} = \frac{\sum_1^N X_i}{N}$$

Donde:

X = es el valor de la observación i

N = el número total de observaciones

10.2.2. Desviación estándar

Esta herramienta se utilizará para revisar la desviación que se tiene en cuanto al % elevado de CO₂ vs. el % deseado por la planta como por el diseño del proyecto, con el propósito de alinear los mismos hacia el objetivo deseado. La fórmula a utilizar será:

$$\sigma = \frac{\sum_i^N |X_i - X|}{N}$$

10.2.3. Registro de información

Proporcionará información de descarga y recorrido del CO₂ en las líneas de producción de la planta, para identificar dónde se genera la merma de este insumo, lo cual ayudará a mejorar la optimización en su uso.

Los registros obtenidos de cada situación en donde se muestra la merma de CO₂, serán anotados de forma manual, luego serán consolidados en una base de datos en Excel, para trabajarlos de manera conjunta y así poder analizar los resultados como el promedio mensual de pérdidas.

10.2.4. Descripción de procedimientos de análisis

El procesamiento y análisis de datos se realizarán de la siguiente manera:

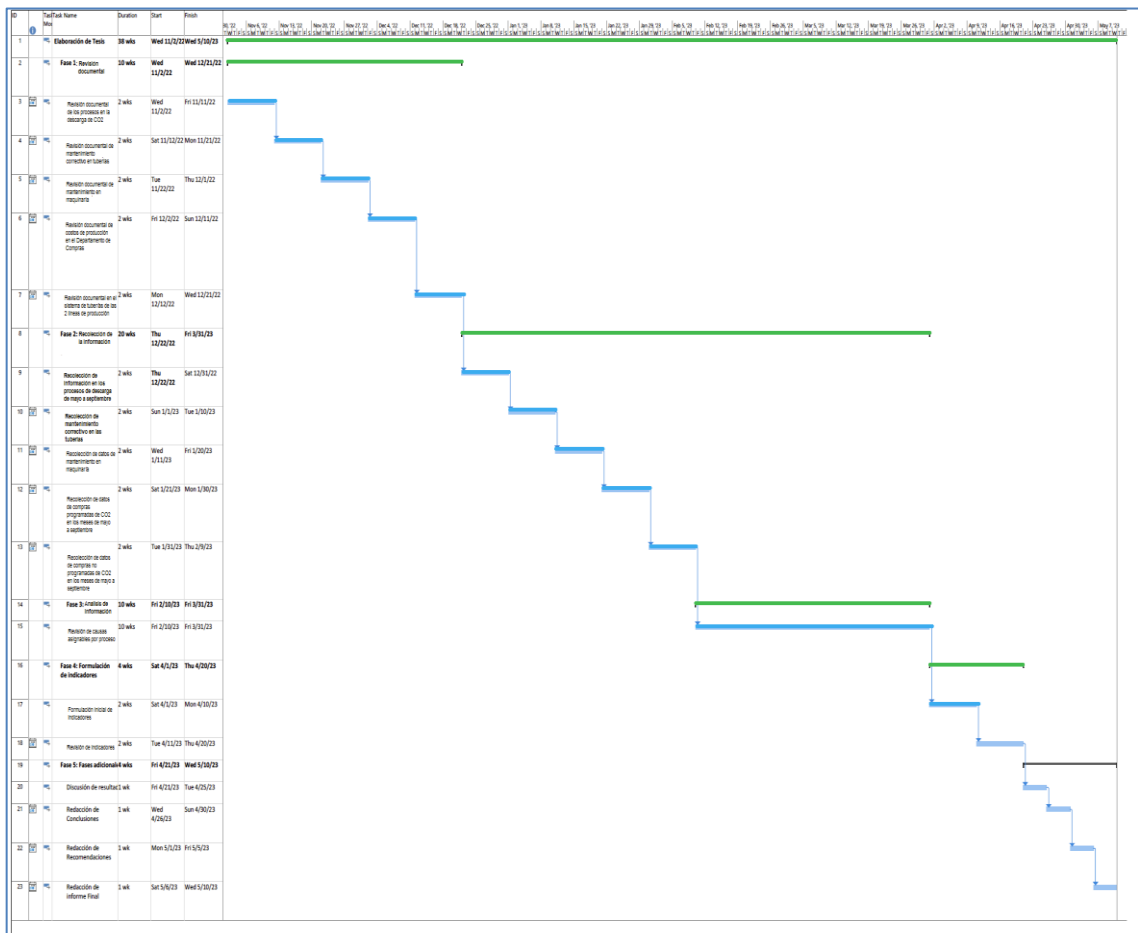
- Se observarán los procesos en las líneas de producción.
- Se construirá una matriz de datos y se calculará la confiabilidad.
- Se probarán las distribuciones de datos.
- Se examinarán los resultados.

Las técnicas de análisis se efectuarán en conjunto con el personal técnico y operativo de la línea industrial, así también con el personal de supervisión, tanto de mantenimiento como de producción y calidad. Esto tendrá el fin de crear soluciones sostenibles y certeras.

11. CRONOGRAMA

Se presenta un cronograma que especifica el tiempo en meses, desde octubre de 2022 a mayo de 2023, en los cuales se llevarán a cabo las actividades para el desarrollo de la tesis de la maestría de gestión industrial.

Tabla II. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia, realizado con Project.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El trabajo de investigación es factible porque se cuenta con los recursos necesarios para llevar a cabo cada etapa. La planta embotelladora autoriza la investigación anterior y proporcionará los siguientes recursos:

- Humano: personal a disposición para la ejecución de tareas como toma de datos, inspección en maquinaria y tuberías, entre otros.
- Información: acceso a información requerida por la investigación.
- Equipo e infraestructura: acceso a la planta de producción, uso de equipo para realizar el diagnóstico en el área de descarga y la línea de tuberías.

En la tabla III se detallan los gastos relacionados para el desarrollo de esta investigación.

Tabla III. Costos para desarrollo de la investigación

No.	Recurso	Descripción del gasto	Monto (Q)	Porcentaje
1	Intelectual	Asesor de investigación	800.00	8 %
2	Material	Papelería y útiles	800.00	8 %
3	Cristalería	<i>Beackers</i> para muestras	500.00	5 %
4	Transporte	Consumo de combustible	1000.00	10 %
5	Alimentación	Alimentación	900.00	9 %
6	Tecnológico	Internet	500.00	5 %
7	Varios	Imprevistos (5%)	500.00	5 %
8	Calibraciones	Calibración de manómetros	2500.00	25 %
9	Hospedaje	Hospedaje en departamento	2000.00	20%
10	Personal tercero	Personal para verificación de fugas de CO ₂	500.00	5 %
			10,000.00	100 %

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

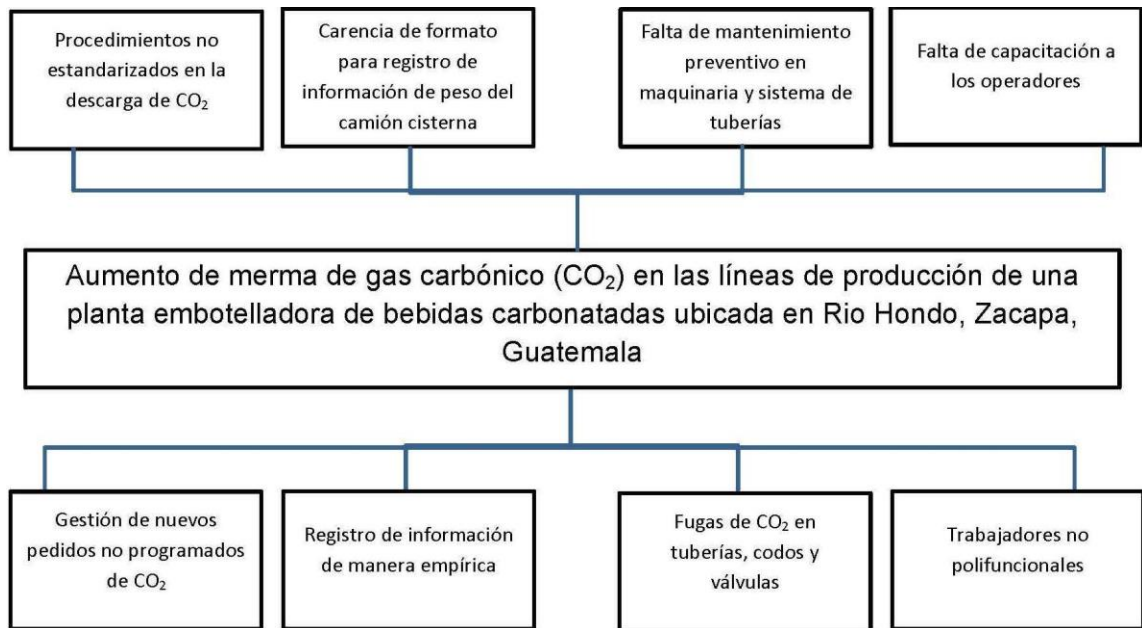
4. Cardona, N. y Tirado, E. (2017). *Propuesta de mejoramiento con base en la filosofía lean manufacturing para una línea de llenado de bebidas alcohólicas* (tesis de maestría) Universidad del Valle, Colombia. Recuperado de <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/13819/0567382.pdf?sequence=1>
5. De León, O. (2021). *Utilización de herramientas Lean Manufacturing para la mejora del indicador de calidad en el área de surtido de productos en un centro de distribución en una empresa de ventas directa por catálogo* (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
6. Gallego, C. y Chiquito, J. (2017). *Propuesta de mejoramiento en el proceso de llenado de aceite a través de la aplicación de herramientas del Lean Manufacturing en una empresa del sector de alimentos* (tesis de maestría). Universidad De San Buenaventura, Colombia. Recuperado de <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/server/api/core/bitstreams/cb1c1d81-6b1b-4f95-ae63-d39ccf8285ba/content>
7. García, A. (2018). *Diseño de investigación de la propuesta para la implementación de un sistema de gestión ambiental con la norma 14,001–2015 en una embotelladora de bebidas carbonatadas, no carbonatadas y jarabes, ubicada en Guatemala.* (tesis de maestría). Universidad de San Carlos De Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_4092_IN.pdf

8. García, S. (2018). *Estudio de mejoras en el proceso productivo en industria de bebidas* (tesis de maestría). Universidad de Oviedo, España. Recuperado de https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/4119/TFM_Sandra%20Garc%EDa%20%C1lvarez.pdf;jsessionid=78ECE953354922670A6EDC13D33B5080?sequence=6
9. Gómez, A. (2021). *Modelo de perfiles y descriptores de puestos en área de manufactura de empresa embotelladora de bebidas a través de metodología Lean de desarrollo de talento y competencias laborales* (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <https://universidaddesancarlosdeguatemala.edu.gt/handle/11042/2742>
10. Kress, M. (2017). *Aplicación de Técnicas Lean para Reducir Desperdicios en una Pyme* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Recuperado de <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/4928/PI-%20KRESS%2C%20Mailen%20Araceli.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
11. Llontop, J., Viacava, G. y Málaga, M. (2018). *Propuesta de mejora del proceso de producción en una planta embotelladora de productos de consumo masivo mediante Técnicas Lean Manufacturing* (tesis de maestría). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú. Recuperado de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/624509/Llontop.J-Viacava.G-M%C3%A1laga.M.I.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

12. Maticorena, L. (2017). *Elaboración de una bebida carbonatada de algarrobina* (tesis de pregrado). Universidad de Piura, Perú. Recuperado de <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2742>
13. Olaya, E. y Trelles, C. (2018). *Mejora para la reducción del costo de producción a través de la reducción de merma de CO₂ en una empresa productora de bebidas carbonatadas* (tesis de maestría). Universidad Ricardo Palma. Perú. Recuperado de <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/3362>
14. Rojas, A. y Soler, V. (2017). *Herramienta para mejorar la productividad en las empresas a través de Lean Manufacturing* (tesis de maestría). Universidad Politécnica de Valencia, España. Recuperado de https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2018/01/art_14.pdf
15. Torres, R. (2019). *Desarrollo del sistema lean para la detección y eliminación de fallas en el proceso de tejidos de polipropileno* (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/13787/1/Rodmy%20Javier%20Cerme%C3%B1o%20Torres.pdf>
16. Vásquez, C. (2017). *Propuesta de implementación de la metodología Lean Manufacturing para la mejora del proceso productivo en la línea de envasado PET de la empresa Ajeper S.A.* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Recuperado de <https://docplayer.es/69332856-Universidad-nacional-de-trujillo-facultad-de-ingenieria.html>

APÉNDICES

Apéndice 1. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Apéndice 2. Matriz de coherencia

Línea de Investigación	Título	Problema	Pregunta Central	Preguntas Secundarias	Objetivo Central	Objetivos Secundarios
Área de operaciones de la Maestría en Gestión Industrial	Plan de mejora para reducir la merma de gas carbónico (CO ₂) en una planta de bebidas carbonatadas ubicada en Rio Hondo, Zacapa, Guatemala a través de la metodología Lean Manufacturing	La generación de merma de gas carbónico (CO ₂) en las líneas de producción, las cuales se encuentran elevadas, En una planta embotelladora de bebidas carbonatadas	¿Cuál es la propuesta de solución para reducir la merma de gas carbónico (CO ₂) en las líneas de producción en una planta embotelladora de bebidas carbonatadas?	<p>¿Cuál es el proceso en las líneas de producción que está ocasionando un alto porcentaje en la merma de gas carbónico (CO₂) en una planta embotelladora de bebidas carbonatadas?</p> <p>¿Cuáles son los factores que ocasionan el aumento de merma de gas carbónico (CO₂) en la descarga y el recorrido en las líneas de producción?</p> <p>¿Cuáles son los indicadores de desempeño (KPI'S) de las herramientas de Lean Manufacturing que ayuden a reducir la merma de gas carbónico (CO₂) en las líneas de producción?</p>	Diseñar una propuesta de solución para reducir la merma de gas carbónico (CO ₂) en las líneas de producción en una planta embotelladora de bebidas carbonatadas.	<p>Realizar un diagnóstico que evalúe el proceso en las líneas de producción que ocasionan un alto porcentaje en la merma de gas carbónico (CO₂) en una planta embotelladora de bebidas carbonatadas</p> <p>Analizar los factores que provocan un alto porcentaje en la merma de gas carbónico (CO₂) en el proceso de descarga y recorrido en las líneas de producción</p> <p>Establecer los indicadores de desempeño (KPI'S) de las herramientas de Lean Manufacturing encaminados a reducir la merma de gas carbónico (CO₂) en las líneas de producción.</p>

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.