



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN
SISTEMA DE GRÁFICOS DE CONTROL QUE EVALÚE LAS MERMAS EN LA
FABRICACIÓN DE AZÚCAR LÍQUIDA**

Dámaris Sucely Aguirre Martínez

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

Guatemala, junio de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN
SISTEMA DE GRÁFICOS DE CONTROL QUE EVALÚE LAS MERMAS EN LA
FABRICACIÓN DE AZÚCAR LÍQUIDA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DÁMARIS SUCELY AGUIRRE MARTÍNEZ
ASESORADA POR EL M.A. ING. LOPSANY ALFONSO GODÍNEZ
GUERRERO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, JUNIO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. 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. Gerardo Ordóñez
EXAMINADORA	Inga. Mercedes Esther Roquel Chávez
EXAMINADORA	Inga. Ana Rufina Herrera Soto
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 INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GRÁFICOS DE CONTROL QUE EVALÚE LAS MERMAS EN LA FABRICACIÓN DE AZÚCAR LÍQUIDA

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

Dámaris Sucely Aguirre Martínez



EEPFI-PP-0557-2022

Guatemala, 26 de abril de 2022

Director
Williams G. Álvarez Mejía
Escuela De Ingenieria Quimica
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 INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GRÁFICOS DE CONTROL QUE EVALÚE LAS MERMAS EN LA FABRICACIÓN DE AZÚCAR LÍQUIDA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Sistemas Integrados de Gestión - Calidad**, presentado por la estudiante **Dámaris Sucely Aguirre Martínez** carné número **201612266**, 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.

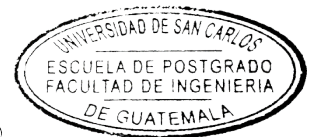
Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

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

Mtro. Lopsany Alfonso Godínez Guerrero
Asesor(a)

Mtro. Hugo Humberto Rivera Perez
Coordinador(a) de Maestría



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



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por haberme permitido realizar una más de mis metas.
Mis padres	Por haberme traído al mundo y guiado a través de él, mi eterno agradecimiento por su apoyo para hacer realidad este sueño.
Mis hermanos	Wendy y Kevin Aguirre, por su apoyo y compañía durante mi vida.
Mi sobrino	Emilio Guevara, por compartir su alegría durante toda la vida.
Familia y amigos	Por estar presente y su apoyo.
Mi mascota	Akira, por acompañarme en mis noches de desvelo.



EEP.EIQ.0557.2022

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 INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GRÁFICOS DE CONTROL QUE EVALÚE LAS MERMAS EN LA FABRICACIÓN DE AZÚCAR LÍQUIDA**, presentado por el estudiante universitario **Dámaris Sucely Aguirre Martínez**, 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, abril de 2022



Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.423.2022

La Decana 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 INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GRÁFICOS DE CONTROL QUE EVALÚE LAS MERMAS EN LA FABRICACIÓN DE AZÚCAR LÍQUIDA**, presentado por: **Dámaris Sucely Aguirre Martínez**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, junio de 2022

AACE/gaoc

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el alma <i>mater</i> que me permitió nutrirme de conocimientos.
Facultad de Ingeniería	Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación.
Mis amigos	Por haberme acompañado durante la carrera.
Mi asesor	M.A. Ing. Lopsany Godínez por haberme guiado durante el trabajo de graduación.
Familia y amigos en general	Por estar presente y su apoyo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Contexto general	9
3.2. Descripción del problema	9
3.3. Formulación del problema	10
3.4. Delimitación del problema	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. Jarabe simple	21

7.1.1.	Sacarosa	22
7.1.2.	Variables involucradas en la preparación de jarabe simple	23
7.2.	Proceso productivo.....	26
7.2.1.	Modelo de administración de procesos	27
7.2.1.1.	Diagrama SIPOC.....	28
7.2.1.2.	Diagrama de flujo de procesos.....	29
7.2.2.	Variabilidad.....	32
7.2.3.	Mermas	33
7.2.4.	Capacidad del proceso.....	34
7.3.	Calidad total	35
7.3.1.	Herramientas del control de la calidad	37
7.3.2.	Gráficos de control	39
7.3.2.1.	Proceso controlado	40
7.3.3.	Pasos para generar el gráfico de control.....	43
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	45
9.	METODOLOGÍA	49
9.1.	Características del estudio	49
9.2.	Unidades de análisis	50
9.3.	Variables	50
9.4.	Fases del estudio	52
9.4.1.	Fase 1: exploración bibliográfica	53
9.4.2.	Fase 2: gestión o recolección de la información.....	53
9.4.3.	Fase 3: análisis de información	53
9.4.4.	Fase 4: interpretación de información	54
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	55

11.	CRONOGRAMA.....	63
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	65
	REFERENCIAS	67
	APÉNDICES	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Árbol de problema.....	12
2.	Esquema de solución.....	20
3.	Formación de la sacarosa.....	23
4.	Densidad en función de la temperatura y concentración.....	26
5.	Diagrama SIPOC del proceso productivo de envase de cartón.....	29
6.	DFP de elaboración de jarabe simple.....	32
7.	Esquema del proceso continuo de gestión.....	37
8.	Estructura del gráfico de control.....	41
9.	Proceso no controlado debido a desviación especial.....	42
10.	Proceso no controlado debido a cambios súbitos.....	43
11.	Diseño experimental.....	56

TABLAS

I.	Criterios de Cpk para evaluación de un proceso.....	35
II.	Pregunta auxiliar 1.....	51
III.	Pregunta auxiliar 2.....	51
IV.	Pregunta auxiliar 3.....	52
V.	Pregunta auxiliar 4.....	52
VI.	Cálculo para el análisis de varianza en función de la suma de cuadrados.....	59
VII.	Cronograma de actividades.....	63
VIII.	Costos para desarrollo de la investigación.....	65

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
CEP	Capacidad estadística del proceso
CP	Capacidad del proceso
ρ	Densidad
DFP	Diagrama de flujo de proceso
\dot{m}	Flujo másico
\dot{v}	Flujo volumétrico
°Bx	Grados Brix
°C	Grados Celsius
°	Grados
h	Horas
=	Igual que
Cpk	Índice de capacidad del proceso
kg	Kilogramo
LCI	Límite de control inferior
LCS	Límite de control superior
L	Litro
M	Masa
>	Mayor que
<	Menor que
m	Metro
m³	Metro cúbico
%	Porcentaje
PCC	Punto crítico de control

Q

Quetzales

V

Volumen

GLOSARIO

Azúcar líquida	Producto que se obtiene al mezclar agua y azúcar blanca o morena.
Brix	Es el cociente total de sacarosa disuelta en un líquido.
Cpk	Capacidad de un proceso para producir un resultado dentro de los límites predefinidos.
Densidad	Magnitud que expresa la relación entre la masa y volumen de un cuerpo.
Eficiencia	Capacidad de realizar un proceso con la mínima cantidad de recursos y de tiempo.
Fluctuación	Variación que experimenta una magnitud física respecto a su valor medio.
Flujo másico	Medida de la masa de un fluido o gas más allá de un punto fijo en un marco de tiempo específico.
Flujo volumétrico	Medida del volumen de un fluido o gas más allá de un punto fijo en un marco de tiempo específico.

Grados brix	Unidad de cantidad que determina el cociente total de materia seca (generalmente azúcares), disuelta en un líquido.
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.
Variación	Cambio de valor de una magnitud o cantidad.

RESUMEN

Los procesos reales, son procesos inestables los cuales sufren de variabilidades y fluctuaciones por naturaleza, estos generan pérdidas de tiempo y dinero en el proceso de producción, mayormente conocidas como “mermas”. Sin embargo, estas variaciones pueden disminuirse mediante el control y monitoreo de las variables que participan en cada proceso.

Actualmente las industrias utilizan herramientas de ingeniería de la calidad, para el monitoreo y control de las variables de su proceso, con el fin de asegurar y mantener la estabilidad del mismo. Los gráficos de control son la herramienta mayormente utilizada, para este monitoreo debido a la validez y confiabilidad de la información que presenta, asimismo por sus múltiples beneficios como detectar y corregir problemas, facilitar la toma de decisiones y la mejora de la productividad de un proceso.

El presente diseño de investigación busca determinar las variables influyentes en la generación de mermas, analizar, monitorear y controlar su comportamiento durante el proceso de producción de azúcar líquida y finalmente proponer una herramienta de ingeniería como lo es el gráfico de control.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación consiste en la sistematización del proceso de producción de jarabe simple para bebidas carbonatadas, a través de una propuesta para la implementación de un sistema de gráficos de control, que permita el monitoreo de las mermas generadas en este proceso crítico de la producción. En las grandes industrias es importante mantener eficiencias altas, para poder lograr la producción con la menor cantidad de recursos, que cumpla con los requisitos de calidad y productividad.

El problema de la embotelladora y de cualquier industria en general, radica en que los procesos reales no pueden lograr la eficiencia ideal del 100 % y que no se cuentan con herramientas de monitoreo, que les permitan estar lo mayormente acercados a esta idealidad; por lo cual, la importancia de la solución consiste en reducir costos del proceso, asociado a mermas y asegurar la calidad del producto final desde la primera etapa del proceso.

Se espera obtener como resultados ahorros en los costos por la disminución de mermas, optimización de la materia prima, mejora en el proceso de calidad y aumento en la eficiencia y productividad del proceso, además de aportar información útil, a través de los gráficos de control que les permita conocer el comportamiento del proceso, facilite la toma de decisiones acertada y ayude a reconocer, cuáles son los puntos críticos para que a través de su monitoreo reduzca variabilidades y por lo tanto manejar un proceso estable.

En el esquema de solución serán utilizados métodos teóricos; ya que, ayudan a profundizar el conocimiento, a entender la relación y dependencia entre

cada variable del proceso. Asimismo, serán utilizados métodos experimentales, para lograr definir cuáles son los parámetros correctos que permiten mantener el proceso estable, con menor variabilidad y que cumpla con los requisitos de calidad.

La investigación se inicia con revisión documental de distintas industrias de alimentos y bebidas, cuya base de preparación es el uso de jarabe simple, esto con el objetivo de determinar cuál es la dependencia entre las variables del proceso, cuáles son las causas que originan estas mermas y, sobre todo, qué herramientas estadísticas del control de calidad se implementan para la reducción de la variabilidad del proceso.

Posteriormente se realizará la recolección de datos que permitan conocer el estado actual del proceso, identificar qué parámetros son los correctos para el mismo y finalmente proponer una herramienta como lo son los gráficos de control para el monitoreo de estas variables críticas.

2. ANTECEDENTES

Hoy en día las industrias manufactureras utilizan una diversidad de análisis estadísticos, para comprender la efectividad de cada operación o área del proceso general, esto con la finalidad de establecer un control de las variables de proceso, e identificar de manera precisa y acertada un problema o error en un proceso de producción específico, se han realizado varios trabajos de investigación, que se fundamentan en la importancia de la implementación de métodos estadísticos en los procesos industriales. Dichos estudios contribuirán como 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:

Las herramientas de ingeniería de calidad hacen referencia a estrategias o acciones, su propósito es garantizar el adecuado funcionamiento de un proceso productivo. De acuerdo con Cruz, Pilar y Ruiz (2017), existe una variedad de técnicas utilizadas para cumplir con los requisitos, normas y expectativas de los procesos, estas técnicas usualmente son métodos con fundamento estadístico y su función es lograr identificar todas aquellas condiciones o factores que causan desviaciones y no ayudan para el cumplimiento de la calidad en el mismo. Entre las herramientas más comunes se mencionan el diagrama de 80-20 o comúnmente conocido como Pareto, diagrama causa y efecto, gráficos de barras, diagrama de dispersión y gráficos de control.

En la publicación de Sanchez-Marquez y Jabaloyes (2021), indica que la funcionalidad, importancia y necesidad de manejar gráficos de control en las industrias de producción. Un gráfico de control es un nuevo enfoque que permite evaluar la estabilidad y capacidad del proceso al mismo tiempo, sin necesidad de

utilizar otros métodos, lo que lo convierte en un método sencillo y exacto. Este estudio describe los pasos o etapas mínimos o necesarios a realizar para poder definir los rangos de control, esto a través de programas o aplicaciones fáciles de utilizar y al alcance de cualquier persona, una vez cuente con un paquete de Office, dicha herramienta es Excel.

La tabla de control de Shewhart se define como otra herramienta utilizada para el monitoreo de la calidad, todas estas herramientas tienen una base en la estadística y en el análisis del comportamiento de los datos del proceso. En el estudio realizado por Fun, Wang y Dong (2016), se realiza la implementación de dicha tabla, con el objetivo de verificar si es funcional para la resolución de problemas, como lo era el proceso inestable de una planta que se dedica a la fabricación de carbón. El artículo no solo describe el problema, sino también indica recomendaciones de cómo aplicar estas técnicas, la importancia del uso de programas estadísticos como SAP y cómo aprovechar beneficiosamente el uso de estas herramientas.

Cada proceso es diferente y por lo tanto sus necesidades también cambian, por lo que al momento de elaborar una herramienta de control es necesario conocer el proceso, especialmente, qué áreas u operaciones son críticas, y con esto definir cuál será el método por utilizar para la elaboración de la herramienta. El estudio de Faraz, Saniga y Montgomery (2018), es un claro ejemplo de cómo se aplican distintos métodos para el diseño e implementación de gráficos, que controlan y monitorean las variables productivas, en este artículo se expone la importancia de utilizar probabilidades para la definición de las restricciones que llevará el gráfico, ya que no solo indicará el rango correcto, sino también se conocerá la probabilidad de tener el proceso fuera de control o cuáles podrían ser falsos positivos, esto con el objetivo de conocer de manera realista el comportamiento de las variables.

El análisis estadístico de un proceso se dificulta cuando las variables del mismo son altamente dependientes entre ellas, es decir, que al modificar una de ellas las otras se ven afectadas. En el estudio presentado por Zhou, Cheng y Zheng (2019), se muestra cómo cambia un gráfico de control para procesos de variables dependientes y el efecto de la autocorrelación. Esta investigación servirá como base}, si se determina que las variables del proceso de producción de azúcar son altamente dependientes entre ellas.

En los antecedentes presentados se observa que todos tienen en común la aplicación de controles estadísticos (CEP), que ayudan a cumplir con la calidad en las industrias. En el artículo de Hernández y da Silva (2016), describe la importancia de aplicar un CEP, pues este consiste en identificar, analizar y monitorear las variables críticas a través de herramientas estadísticas. Para poder identificar estas áreas de criticidad, es necesario realizar muestreos y formar una base de datos analizables, conforme los resultados tomar acciones que eliminen o prevengan cualquier causa que provoque desviaciones, definir rangos permisibles, conocer el comportamiento de las variables involucradas y que esta información facilite al momento de tomar una decisión.

Las mermas son pérdidas de valor debido a fluctuaciones o accidentes; es decir, todas aquellas pérdidas que no son de carácter normal. Existen muchas metodologías para la disminución de las variabilidades, una de ellas y de las más conocidas y novedosas actualmente es la metodología *Six Sigma*. En un estudio realizado por A. Castelo, Pérez, Alarcón y W. Castelo (2018), se aplica dicha metodología cuyo fin es la reducción de tiempos, costos y satisfacer las exigencias de su clientela. En esta investigación se presenta la metodología utilizada, desde la caracterización del proceso, identificación de puntos críticos de control, medición de resultados y finalmente el análisis de las causas de estas variabilidades.

Las variaciones son inherentes a cualquier proceso, por lo que, en vez de definir valores puntuales se establecen rangos permisibles, al momento de ocurrir una variación, que no se encuentre contemplada en este rango automáticamente conllevará a un costo extra, debido a esto las industrias buscan que sus procesos sean estables, pues al no ser así, la inestabilidad va a impactar negativamente en los costos de la empresa.

Tal y como lo presenta Alzate y Osorio (2017), en donde se realiza un estudio entre las diferencias del costo estándar y el costo real de producción, y cómo el costo real es mayor debido a las fluctuaciones de proceso, desperdicios de materiales y mermas de producción. Esto a través de una observación de variaciones y un gráfico de control, para definir las causas que generan esta variabilidad.

La mejora continua es el objetivo a alcanzar en cada organización, pues las empresas buscan mejorar la eficiencia y eficacia del proceso. Lo más relevante del estudio de Villar y Ledo, (2016) es destacar el uso de la metodología, técnicas, herramientas y análisis estadístico para el cálculo del indicador del índice de mermas, y cómo estas herramientas estadísticas facilitan el procesamiento y análisis de datos de una organización.

La identificación de variables influyentes en el comportamiento de un proceso es un paso clave y elemental para el análisis, monitoreo y control de la misma. Al modificar dichas variables influyentes e intensificarlas en elementos que las convierten en exitosas, es lo que provoca una oportunidad de mejora del proceso. En el estudio presentado por Cabrera, Medina, Puente, Rivera, Sánchez y Núñez (2016), se determina una metodología experimental, en donde se busca la identificación de las variables influyentes de un proceso y el impacto de las acciones correctivas al ser modificadas.

En los antecedentes presentados se observan metodologías, técnicas y herramientas de ingeniería para el monitoreo y control de la variabilidad de los procesos, estas herramientas permiten que ocurra un procesamiento y análisis de datos que facilita la toma de decisiones, asimismo, proporcionan una ayuda para identificar en dónde un proceso puede y por lo tanto la implementación de acciones correctivas-preventivas que permitan disminuir las fluctuaciones, mermas y costos con el fin de mejorar el desempeño, productividad y eficiencia de un proceso.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema que tiene la embotelladora es la generación de mermas en el proceso de producción de azúcar líquida, debido a que el registro y control de las variables críticas del proceso se realizan de manera empírica.

3.1. Contexto general

En una empresa embotelladora de bebidas carbonatadas en Guatemala, uno de sus principales procesos es la elaboración de jarabe simple, también conocido como elaboración de azúcar líquida, en donde se utiliza una de las materias primas más importantes y en grandes cantidades, el azúcar.

Durante la producción de jarabe simple existen mermas en cada operación unitaria del proceso, desde el transporte de la materia prima, almacenaje, filtración hasta la cocción del jarabe simple.

El problema reside en que el registro y control de variables críticas del proceso, se realizan de manera empírica y, por lo tanto, existe un desconocimiento del comportamiento del proceso y un monitoreo inválido, que no garantiza el control en la variabilidad del proceso ni la calidad del producto.

3.2. Descripción del problema

El problema identificado en el área de jarabes, especialmente durante la elaboración del jarabe simple, es la producción de mermas, cuando en el proceso ocurre un cambio de temperatura ya sea alto o bajo, dicho problema ha

ocasionado varios impactos significativos en los costos de producción, pues se utiliza mayor cantidad de materia prima, agua y azúcar, para cumplir con el requerimiento solicitado en las líneas de producción.

El proceso de la elaboración de jarabe simple inicia con la recepción de la materia prima que en este caso es el azúcar, en donde se realizan varios análisis fisicoquímicos como colorimetría y humedad, y análisis sensoriales de olor y sabor. Posteriormente se realiza la mezcla entre el agua y azúcar en un tanque, que contiene un 90 % de agua y un 10 % de azúcar, a una temperatura de 80 °C, para poder realizar el proceso térmico de cocción. Este proceso de cocción es una etapa crítica del área, pues se involucran las variables de temperatura, densidad y la concentración a la cual se quiere llegar la solución de azúcar líquida.

En la etapa de cocción, se ha logrado identificar generación de mermas debido a la variabilidad de la temperatura; asimismo, problemas de calidad en el producto final, debido a una sobrecocción el cual puede provocar cambio de color en el jarabe simple y sabores extraños para la bebida de producto terminado, como el sabor a caramelo quemado, lo cual provoca no solo impactos en los costos, sino quejas, mala imagen y desprestigio a la marca.

3.3. Formulación del problema

Para definir el problema, se realizó un mapa de problemas en donde se establecen las causas y consecuencias de este, lo que da como resultado un consolidado de preguntas que se exponen a continuación, las cuales ayudarán no solo a definir el problema sino a darle solución al mismo.

- Pregunta central

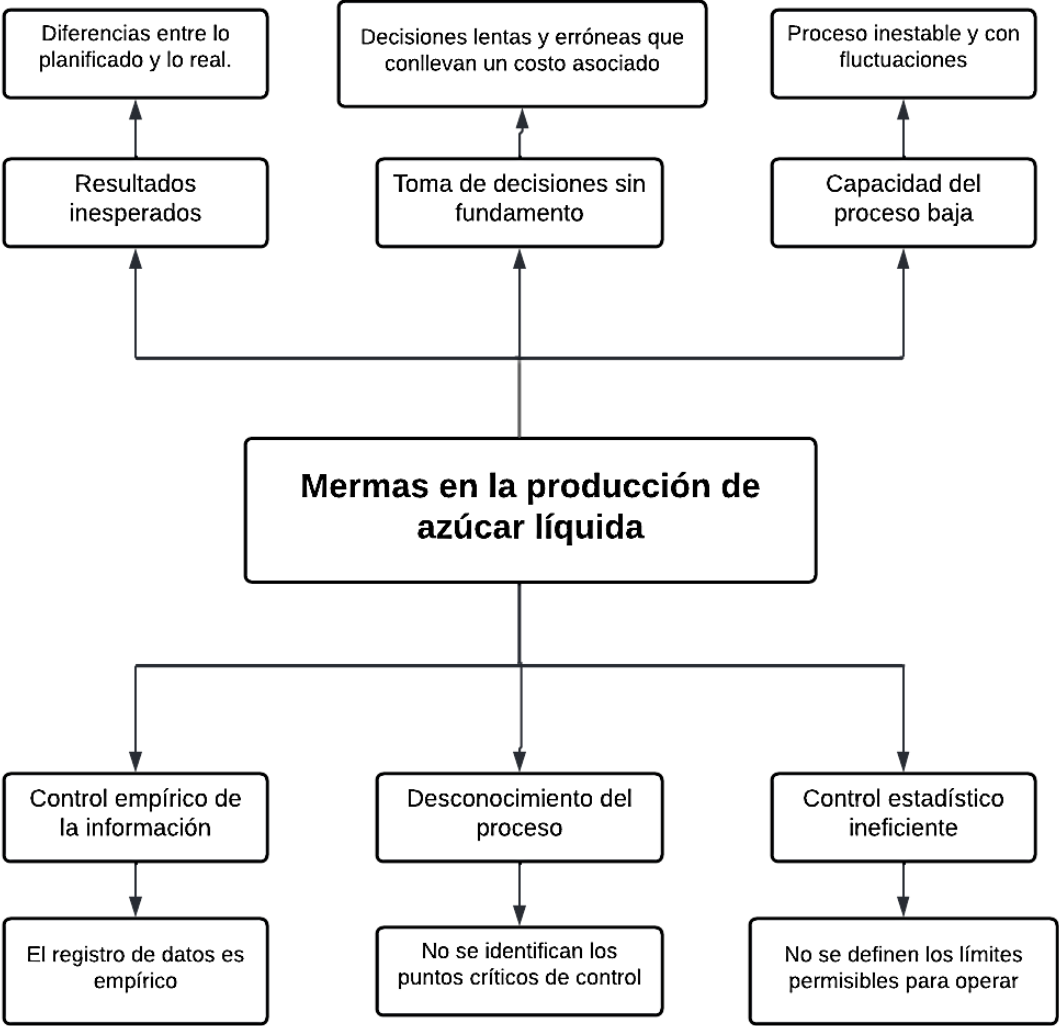
¿Cómo el sistema de gráficos de control disminuirá las mermas de producción de azúcar líquida en una fábrica de bebidas carbonatadas?

- Preguntas auxiliares

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

- ¿Cuál es el sistema de monitoreo para el registro de datos de las variables críticas del proceso?
- ¿Cuáles son los rangos de temperatura que generan la menor cantidad de mermas en un proceso de producción de azúcar líquida?
- ¿Cuáles son los límites máximos de temperaturas permisibles que generan un menor costo en las mermas de azúcar líquida?
- ¿El gráfico de control permitirá darles seguimiento a las mermas a través de un monitoreo de temperaturas dando como resultado el aumento en la eficiencia del proceso?

Figura 1. **Árbol de problema**



Fuente: elaboración propia, realizado con Lucidchart.

3.4. Delimitación del problema

El trabajo de investigación se realizará en el área de jarabes de una empresa embotelladora de bebidas carbonatadas ubicada en la ciudad de Guatemala. La ejecución de la investigación se llevará a cabo durante el período del mes de septiembre 2021 y septiembre 2022.

En la investigación de Alzate y Osorio (2017) titulada *Aplicación de los diagramas de control para el análisis e inspección de las variaciones derivadas del costo estándar*, la merma es definida como aquellas pérdidas del proceso debido a fluctuaciones indeseadas, en donde el costo real cambia con base al comportamiento de las mermas. La reducción de mermas provoca un impacto significativamente positivo en la economía de la organización y esta reducción se logra a través de la identificación, control y monitoreo de las variables presentes en los puntos críticos de control.

Esto lleva a plantear la pregunta principal de esta investigación: ¿Un sistema de gráficos de control disminuirá las mermas de producción de azúcar líquida en una fábrica de bebidas carbonatadas?

4. JUSTIFICACIÓN

La realización de la presente investigación se justifica en la línea de investigación de control de calidad de la Maestría en Gestión Industrial. Con esta investigación, se aportará a la mejora de la productividad del proceso de fabricación de azúcar líquida, por medio del análisis del proceso y las variables de producción influyentes en la generación de mermas. Asimismo, con la implementación de un control se busca asegurar la calidad del producto final y por consiguiente mantener el prestigio de la marca.

Los beneficios que obtendrá la embotelladora con el estudio serán disminución en los costos de producción en el área de jarabes, ya que, al tener variabilidad en la temperatura del proceso, se produce una mayor cantidad que la solicitada, lo que provoca una pérdida de azúcar, agua y atrasos en las líneas de producción. Asimismo, un correcto control y monitoreo de las variables críticas del proceso permitirán asegurar que el jarabe simple, es producido con los correctos parámetros organolépticos y por lo tanto no va a afectar en sabor o apariencia al producto final, con el fin de mantener los requisitos de la marca y la fidelidad de clientes exigentes.

El trabajo de investigación es de suma importancia ya que servirá para mejorar el sistema de gestión de calidad de la embotelladora, en donde beneficiará directamente a la eficiencia y productividad del proceso, a través del control de variables críticas y que permitan disminuir la variabilidad, ayudar a la predicción de riesgos y facilite la toma de decisiones. Asimismo, contribuye para el aseguramiento de la calidad del producto terminado.

La motivación del investigador para realizar el presente trabajo de investigación es el deseo de aportar soluciones rápidas con el uso de herramientas sencillas, que permitan un correcto registro y monitoreo de datos, el cual ayudará a la optimización de la materia prima, reducción de mermas y presentar un método de aseguramiento de la calidad que facilite el cumplimiento de las especificaciones y requisitos del producto terminado.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Proponer un sistema de gráficos de control para disminuir las mermas de producción de azúcar líquida en una fábrica de bebidas carbonatadas.

5.2. Específicos

1. Monitorear el proceso productivo de azúcar líquida a través del registro de datos de temperatura, densidad y concentración.
2. Analizar los cambios en la generación de merma en el proceso de productivo de azúcar líquida en función de distintos rangos de temperatura.
3. Definir los límites máximos permisibles que representen un menor costo de merma a partir de la evaluación de los rangos de temperatura.
4. Diseñar un gráfico de control de que permita monitorear la merma en función del control de la temperatura del proceso.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Con la realización de la investigación se pretende cubrir y proponer un método de control de calidad, que permitirá evaluar el proceso de fabricación de azúcar líquida; asimismo, controlar la variabilidad del proceso para que estas no incidan en la generación de mermas, en donde se mejora eficiencia, productividad y se asegura la calidad del proceso productivo.

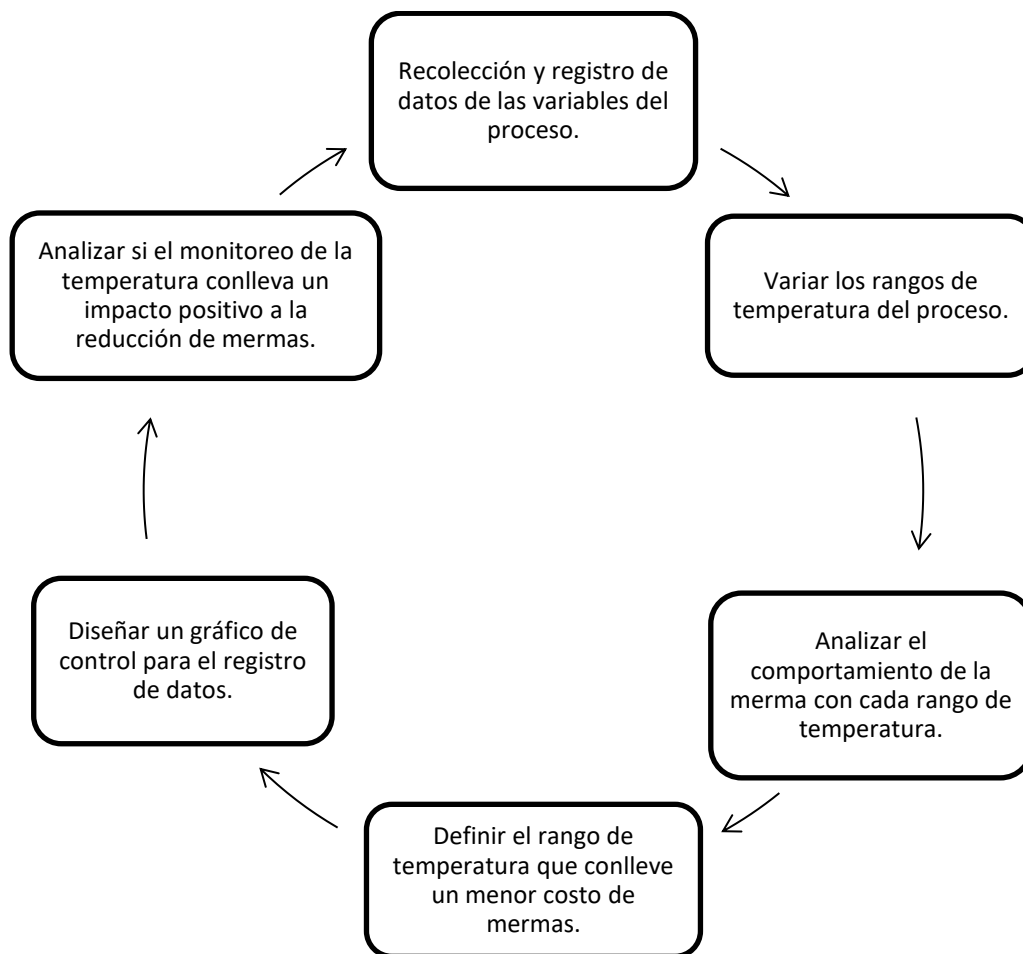
Para el desarrollo de esta investigación se hará uso de distintos métodos y técnicas las cuales se describen a continuación:

Inicialmente se utilizarán métodos teóricos para profundizar conocimiento sobre el tema, se utiliza como base artículos e investigaciones de industrias de alimentos principalmente de bebidas, jugos o néctares cuya base de preparación es el jarabe simple, con la teoría se podrá definir cuáles son las variables críticas del proceso y por lo tanto las que se deben de monitorear con una frecuencia establecida.

Por otra parte, se realizará una recolección de datos para conocer cuál es el comportamiento del proceso actualmente y determinar qué ajustes en especificaciones y parámetros son los necesarios para disminuir la variabilidad del proceso. La etapa experimental de dicha investigación consiste en la realización de pruebas, en donde se variará la temperatura en la que opera el proceso, con la finalidad de definir qué rango es aquel que permite estabilidad y una menor cantidad de mermas producidas.

Finalmente, se llevará a cabo la tabulación de datos con el nuevo rango de temperaturas definido para evaluar el desempeño del proceso, a través del uso de gráficos de control y proponer la utilización de esta herramienta para un registro de datos sencillo y efectivo.

Figura 2. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia, realizado con Word.

7. MARCO TEÓRICO

En las siguientes teorías, definiciones, conceptos y métodos, se van a encontrar fundamentos teóricos del diseño de investigación propuesto, que ayude a la resolución de la evaluación de mermas en la fabricación de azúcar líquida y a proponer una herramienta que permita monitorear y controlar dicho proceso productivo.

7.1. Jarabe simple

Se le conoce como jarabe simple a la mezcla entre agua y azúcar, también es conocido como azúcar líquida o sacarosa en solución. En las industrias de alimentos enfocadas en la elaboración de bebidas como gaseosas, jugos y/o néctares, se utiliza como base de la bebida al jarabe simple, el cual para su preparación se utiliza azúcar refinada y agua tratada, dicha solución se prepara a una cierta concentración que puede medirse a través de los grados Brix.

La disolución de azúcar puede realizarse en frío o en caliente, en donde una de las principales diferencias entre estos métodos es la velocidad de disolución del azúcar, al utilizar temperaturas altas la solubilidad del azúcar en agua aumenta y por lo tanto menor será el tiempo de la mezcla. Abu-Reidah (2020)

En este trabajo de investigación se basará en la elaboración de jarabe simple por el método en caliente.

La preparación del jarabe simple consta de 1 a 3 partes de azúcar a 6 partes de agua en relación volumen / volumen, es por esto que, es necesario fabricar

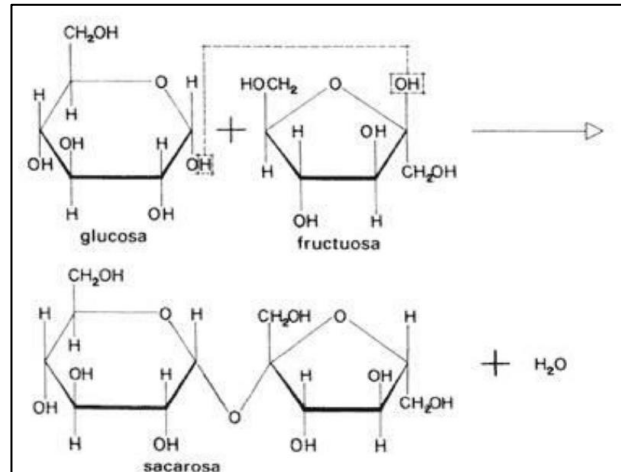
lotes concentrados de azúcar y luego diluirlo con porciones de agua, es necesario tomar en cuenta la relación de flujos másicos para poder formar el producto final, asimismo, controlar la densidad, temperatura y agitación de la mezcla. Generalmente, un jarabe simple convencional consta de 67 °Bx.

7.1.1. Sacarosa

La sacarosa o el azúcar como es conocida comúnmente es un disacárido compuesto por dos monosacáridos, la glucosa y la fructuosa, y es utilizada como un edulcorante nutritivo en la industria de bebidas carbonatadas. Una propiedad de los materiales azucarados es la concentración de los sólidos solubles, a esta concentración de sólidos se le conoce como grados Brix (°Bx), unidad de medida utilizada usualmente en soluciones azucaradas.

Según Melgar (2014), el brix puede determinarse mediante el uso de equipos como refractómetros, hidrómetros o densímetros, en donde se utiliza como base la pureza polarimétrica de los materiales azucarados.

Figura 3. **Formación de la sacarosa**



Fuente: Melgar (2014). *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. Recuperado de <https://libroelectronico.uaa.mx/capitulo-12-otras-vias/estructura-y-funcion-de-la.html.20170103101309141.pdf>. Consultado el 3 de febrero de 2022

7.1.2. Variables involucradas en la preparación de jarabe simple

Conocer y determinar cuáles son las variables involucradas en un proceso es fundamental para el diseño, optimización y control, tanto de la calidad como del proceso. “La complejidad de las variables aumenta conforme el tipo de solución, es decir, determinar el comportamiento de las variables en una solución multicomponente, no es igual que determinarla en una solución binaria, tal y como es el jarabe simple” (Darros, Balaban y Teixeira, 2003, p. 201).

De acuerdo con Zavaleta, (2011), las preparaciones de jarabes de sacarosa en la industria pueden ser difíciles, esto debido a que la preparación consiste en una mezcla de volúmenes (la unidad de medida que se utiliza en equipos de mezcla usualmente es volumétrica, pues se tiene la parte líquida de la bebida) y composiciones másicas (el azúcar se pesa en kilogramos, la cual se considera la

parte sólida). Por otra parte, la mezcla sacarosa-agua no es una solución ideal y por lo tanto los volúmenes no serán aditivos, por esta razón es necesario crear relaciones entre las variables del proceso para poder identificar y conocer el comportamiento del mismo.

La relación que existe entre la cantidad de materia y el volumen que esta ocupa se denomina densidad, esta va a variar conforme el tipo de sustancia, los cambios de estado, es decir en donde se modifique la temperatura, presión o concentración de un sistema, en otras palabras, la densidad es una variable dependiente a estos cambios. Al aumentar la presión la densidad aumenta, caso contrario ocurre con la temperatura, pues la densidad va a disminuir cuando la temperatura aumente.

Se le conoce como temperatura a la medida promedio de la energía cinética de las moléculas o la energía interna de un sistema; así como, la densidad, la temperatura también es una propiedad intensiva de la sustancia. La temperatura debe de ser monitoreada, en el proceso con el uso de termómetros, ya que, es considerada como una variable crítica que puede afectar el producto final, como, por ejemplo, una sobrecocción del jarabe simple provoca cambios organolépticos, distinto sabor, olor y color, es por esto que debe de ser indispensable el monitoreo de la temperatura para evitar afectar la eficiencia y calidad de los productos.

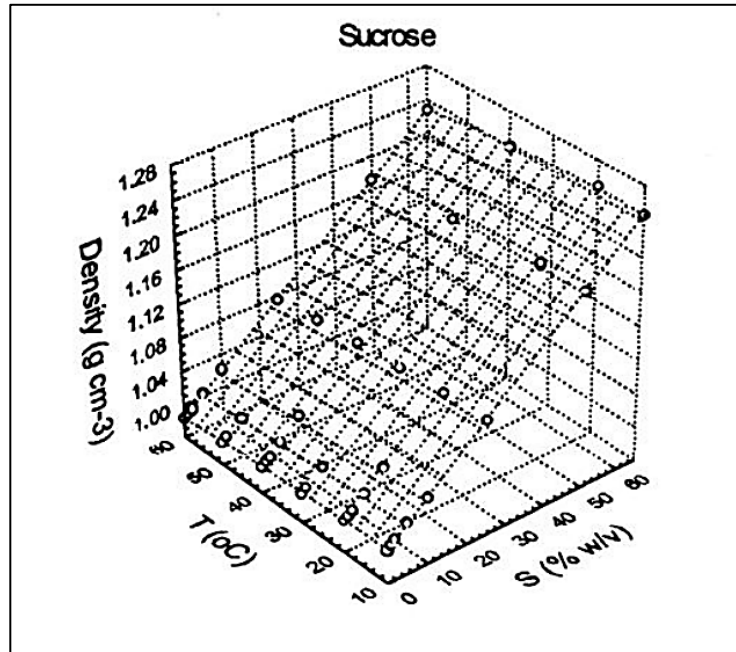
La unidad de medida de la concentración de azúcar se expresa en grados brix, tal como se mencionaba con anterioridad y esto representa el porcentaje de masa de sacarosa presente en la solución, la relación de la concentración consiste en, a mayor cantidad de sólidos, más alta será la concentración, al igual que la densidad y la temperatura, la concentración también es una propiedad intensiva de la materia.

En procesos industriales de alimentos como elaboración de jugos, néctares o bebidas carbonatadas, cuya base son las soluciones binarias como lo es el jarabe simple, las variables de densidad, temperatura y concentración se consideran críticas para su monitoreo y control, pues, se ha demostrado su relación y dependencia entre ellas.

De acuerdo con Giraldo, Cruz y Sanabria, (2017), la densidad se verá influenciada significativamente tanto por la concentración de sólidos solubles y la temperatura a la que se opera el proceso, cuando se trabaja a una presión constante. Al aumentar la temperatura la densidad disminuirá y al mismo tiempo habrá una expansión volumétrica. En cambio, si se trabajase a una temperatura constante, la densidad va a aumentar conforme aumente la concentración de sólidos solubles.

En la figura 4 se muestra un diagrama tridimensional realizado a través de datos experimentales presentados en el estudio titulado *Dependencia de la temperatura y la concentración en la densidad de los alimentos líquidos*, Darros et al., (2003), en donde se detalla la relación de la densidad, temperatura y concentración en una solución acuosa de sacarosa a presión constante. Como se puede observar la densidad tiene una dependencia cuadrática con la temperatura y tiene una dependencia débil con la concentración de los solutos.

Figura 4. **Densidad en función de la temperatura y concentración**



Fuente: Darros, Balaban y Teixeira (2003). *Dependencia de la temperatura y la concentración de densidad de los alimentos líquidos*. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1081/JFP-120017815>. Consultado el 3 de febrero de 2022.

7.2. **Proceso productivo**

Un proceso productivo, es una serie de operaciones que se realizan de manera planificada y sucesiva, para la transformación de materia prima a un producto o un servicio. De acuerdo con el comportamiento de los mismos, estos se pueden clasificar como estables o inestables, en donde los estables son aquellos que se comportan de manera predecible, se obtiene resultados iguales o semejantes a lo largo del tiempo, caso contrario ocurre al hablar de aquellos denominados inestables, pues en estos su comportamiento varía respecto al

tiempo, no es previsible y es difícil conseguir los mismos resultados al momento de replicarlo.

Según Hernández y da Silva (2016), un proceso productivo estable no es aquel que no sufra de variaciones, sino aquel que las variaciones se encuentran controladas y monitoreadas dentro de los límites permisibles; por lo que, lo va a caracterizar la repetibilidad y su comportamiento constante.

7.2.1. Modelo de administración de procesos

Un modelo de administración de proceso es un sistema cuyo objetivo es identificar los elementos de un proceso y cómo estos interaccionan entre sí, para facilitar las acciones de controlar y monitorear el proceso productivo. Los modelos de administración de procesos van a depender de cada tipo de proceso, por lo que no existe un modelo específico que rijan a todos.

La importancia de construir estos modelos de administración de procesos radica en poder definir procedimientos operativos críticos, definir cuáles con los puntos críticos de control, qué herramientas estadísticas se van a utilizar para controlar el proceso, establecer especificaciones en cada actividad, definir personas encargadas en cada etapa del proceso y proveer documentos y toda la información necesaria sobre cómo operar cada procedimiento crítico.

En los procesos de la industria manufacturera se utiliza una variedad de herramientas para definir los modelos de administración de procesos, debido a la complejidad de los procesos industriales, se optan por ciertas herramientas específicas que son más representativas y que permiten una mejor visualización del proceso. Entre las más comunes se encuentran, el diagrama SIPOC, diagrama de flujo de procesos y la tabla de control.

7.2.1.1. Diagrama SIPOC

SIPOC acrónimo en inglés que significa *Suppliers, Inputs, Process, Output, Customers*, en español, Suministros, Entradas, Procesos, Productos y Clientes. Se puede definir al diagrama SIPOC, como una herramienta que caracteriza el proceso de una manera sencilla y clara, que utiliza como base los elementos claves que describen sus siglas.

Las siglas del diagrama SIPOC hacen referencia a, *Supplier* o proveedores, aquellas personas o empresas involucradas en el proceso que aportan recursos. *Input* o entrada, a aquellos elementos necesarios para hacer funcionar el proceso. *Process* o proceso, conjunto de operaciones que transforma un producto o servicio. *Output* o salida, resultado final del producto y finalmente *Customer* o cliente, personas o empresas a quien se le da el producto final y al que se le debe de cumplir sus expectativas y necesidades.

El diagrama SIPOC, es un diagrama de flujo que se debe de realizar como primer paso, para definir qué herramientas utilizar para el control del proceso, pues permite visualizar las operaciones de manera secuencial, las actividades involucradas y como éstas se interrelacionan en el proceso, en donde se definen las entradas y salidas, los proveedores y los clientes. El diagrama SIPOC sirve como base para la realización del diagrama de flujo de procesos (Brown, 2019).

Figura 5. Diagrama SIPOC del proceso productivo de envase de cartón

Suppliers	Inputs	Process	Outputs	Customers
<ul style="list-style-type: none"> - Final customer - Equipment and software supplier 	<ul style="list-style-type: none"> - Geometric or graphical models - Specifications - Pre-printing equipment and software 	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Pre-printing</div>	<ul style="list-style-type: none"> - Structural design 	<ul style="list-style-type: none"> - Printing area of Production Department
<ul style="list-style-type: none"> - Pre-printing Department - Raw materials suppliers - Equipment supplier 	<ul style="list-style-type: none"> - Structural design - Tints - Cardboards - Printing equipment 	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Printing</div>	<ul style="list-style-type: none"> - Printed cardboards 	<ul style="list-style-type: none"> - Cutting and creasing area of Production Department
<ul style="list-style-type: none"> - Printing area of Production Department - Pre-printing Department - Equipment, tool and material suppliers 	<ul style="list-style-type: none"> - Printed cardboards - Structural design - Cutting and creasing equipment and tools - Special glue 	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Finishing</div>	<ul style="list-style-type: none"> - Finished product 	<ul style="list-style-type: none"> - Shipping area / Logistics Department
<ul style="list-style-type: none"> - Shipping area / Logistics Department 	<ul style="list-style-type: none"> - Finished product - Order packaging 	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Shipment</div>	<ul style="list-style-type: none"> - Finished product shipped to the final customer 	<ul style="list-style-type: none"> - Final customer

Fuente: Aleryani. (2016). *Estudio comparativo entre el diagrama de flujo de datos y el diagrama de casos*. Recuperado de <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/criteriolibre/article/view/1042/807>. Consultado el 3 de febrero de 2022.

7.2.1.2. Diagrama de flujo de procesos

Los diagramas de flujos de procesos o PFD por sus siglas en inglés, estos diagramas se consideran como el siguiente paso después de elaborar el diagrama SIPOC, y busca complementar el diagrama SIPOC a través de una representación gráfica y detallada del proceso, en donde muchas veces se utilizan figuras para identificar equipos u acciones. Es una de las herramientas

principales para conocer el proceso y se cree que es requerido para todos los sistemas, debido a su enfoque estructurado y su organización jerárquica.

Este PFD se usa ampliamente en la industria, usualmente en ámbitos de ingeniería, como ingeniería de procesos o en la ingeniería química, pues es un diagrama que ilustra las relaciones entre cada operación de un proceso industrial con el uso de símbolos y elementos estandarizados establecidos.

El proceso de elaboración de jarabe simple es un proceso con una alta relación a los procesos químicos y físicos; es por eso, que los elementos a utilizar en el diagrama de flujo serán los presentados por la ISO 10628-1:2015, que detalla las reglas para la elaboración correcta de los diagramas de flujo, tanto para la industria química como para la petroquímica. En esta norma ISO se tienen como referencias la norma ISO 128, 7200, 10209, 14617, 15519 y la 80000-1, en donde se describen dibujos, documentación técnica, símbolos y especificaciones de los diagramas para los procesos industriales.

De acuerdo con Aleryani (2016), la finalidad de utilizar diagramas de flujo de proceso es poder entender de manera rápida y sencilla el funcionamiento de un proceso, qué variables son las involucradas en cada operación y conocer cuáles son los pasos innecesarios. Al ser una herramienta que abarca en su totalidad todas las operaciones de un proceso, esta se ha considerado un instrumento útil para el control y monitoreo de la calidad. Asimismo, posibilita identificar áreas u operaciones críticas, que deben de mantenerse en constante control para garantizar la excelencia del producto final, ya que son cruciales si existe una desviación en el proceso.

A estas áreas u operaciones cruciales se les ha denominado como “Puntos Críticos de Control (PCC)” en donde se debe de aumentar la frecuencia para el

control, monitoreo e inspección, ya que es en estas áreas en donde se debe de evitar o eliminar, errores, variaciones o peligros que lleguen a afectar de manera significativa el proceso y por consiguiente al producto final, lo cual causa impactos económicos negativos, en donde se vea afectada la eficiencia y la productividad.

En el estudio de Castelo et al., (2018) se propone que el monitoreo de los puntos críticos de control se realice a través de la utilización de una tabla de control, en donde se puedan definir las variables de control, variables terminales, puntos de medición, tamaño de muestra a medir y por último la frecuencia de medición.

Según Castelo et al., (2018), una variable de control es aquella que va a controlar la operación del proceso, como por ejemplo la temperatura, presión y concentración. Una variable terminal es aquella que depende de la variable control, en este caso, la densidad. Un lugar de medición es el lugar físico en donde se ejecuta la medición. Se debe de contemplar cuántas mediciones se deben de hacer, y para esto se toma en cuenta, el tamaño de muestra, el cual va a depender del proceso y del porcentaje de confiabilidad de los datos que dará como resultado, finalmente, la frecuencia en donde se establece el período en el que se debe de llevar a cabo la medición.

Figura 6. **DFP de elaboración de jarabe simple**



Fuente: Serva A. (2017). *Cadena de suministro internacional empresa*. Recuperado de internaitonalsupplychaincocacola.blogspot.com. Consultado el 10 de febrero de 2022.

7.2.2. Variabilidad

La variabilidad es un fenómeno que se encuentra presente en cualquier proceso, sin importar si este se encuentre en control o no. Esto debido a que cualquier proceso es susceptible a factores tanto externos como internos que provocan cambios inevitables o imperceptibles que si no son monitoreados pueden afectar el producto final.

La variabilidad se puede reducir a partir de la determinación de las causas que la originan, de acuerdo con (Hernández y da Silva, 2016), las causas se puede clasificar como causas comunes y causas especiales, en donde la primera son aquellas causas inherentes al proceso, se conoce esta variabilidad, no se pueden evitar, pero al ser conocidas son fácilmente controlarlas y generan costos bajos, en cambio, al hablar de causas especiales, son aquellas que no tienen

relación alguna con el proceso, como por ejemplo un error, puede pasar desapercibido, no es controlado y por lo tanto su costo es mayor.

7.2.3. Mermas

Debido a la naturaleza de los procesos reales y la variabilidad inherente del mismo, en todo proceso productivo se va a generar lo que se conoce como mermas. Las mermas son pérdidas que ocurren durante la transformación del producto, son muy difíciles de detectar de manera inmediata y se consideran de carácter normal en cualquier proceso productivo, por lo que estas van a formar parte del costo de producción.

Las mermas se pueden producir por una gran cantidad de causas, por lo que no existen causas definitivas, pues cada proceso es diferente, estas causas pueden ser provocadas desde transportes de material, errores humanos en las distintas áreas, logística, producción, calidad, las cuales van a provocar la afectación de la productividad y posibles errores en la calidad del producto final. Las mermas al igual que la variabilidad se dividen en mermas anormales y normales, una merma anormal hace alusión a accidentes o imprevistos, mientras que la normal las que ocurren dentro del mismo proceso productivo.

Según Castelo et al. (2018), un concepto erróneo es llamar desperdicio a las mermas, pues la diferencia entre estas es que un desperdicio es un residuo que puede revenderse con un valor menor del costo, mientras que una merma es una pérdida debido a la variabilidad del proceso real.

7.2.4. Capacidad del proceso

La habilidad de repetibilidad dentro de rangos de especificación o límites establecidos se ha denominado la capacidad del proceso (CP), la importancia de evaluar la CP es conocer si este tiene la capacidad de generar productos finales que cumplan con los requisitos y especificaciones establecidas, y si estos pueden realizarse de manera periódica.

Otro término muy utilizado para evaluar capacidad es, la capacidad estadística del proceso (CEP), la diferencia entre estos reside en que el primero realiza una evaluación en donde se utiliza la estadística, a través de programas o softwares avanzados como Excel, pues estos ayudan a identificar aquellas circunstancias que provocan variabilidad y por lo tanto afectan o podrían afectar al proceso, por eso se les llama también como softwares de prevención.

Según Sanchez-Marquez y Jabaloyes (2021), el índice de capacidad del proceso o Cpk, es un instrumento utilizado en el análisis de datos que permite medir el desempeño de un proceso, en donde se califica y conforme el resultado se establece en qué rango de Cpk se encuentra el mismo, los rangos y las descripciones se definen en la tabla I. Este índice considera los cambios en la dispersión del proceso, y por eso es necesario tomar un tamaño de muestra mayor a 30 datos, para poder estimar correctamente el índice de capacidad, sin tener problemas de sesgo y obtener una visión clara de su desempeño. En otras palabras, el Cpk mide la dispersión permitida, en donde se utiliza como base para su cálculo los límites establecidos, la tolerancia (de especificación y la natural) y la media de los datos.

Se definen como límites de control, al rango en el que se espera que se encuentre el proceso, se toma en consideración la variabilidad aleatoria del

mismo. Se establece un límite de especificación inferior y un límite de especificación superior, cualquier dato que se encuentre fuera de estos límites van a indicar un problema estadístico.

La valoración del proceso se realiza con base a los siguientes criterios:

Tabla I. **Criterios de Cpk para evaluación de un proceso**

Valor de Cpk	Descripción del proceso
$Cpk \geq 2.00$	proceso altamente confiable
$1.33 < Cpk < 2.00$	proceso relativamente confiable
$1.00 < Cpk < 1.33$	proceso poco confiable
$0 < Cpk < 1.00$	proceso incapaz, con producción defectuosa
$Cpk < 0$	proceso totalmente incapaz

Fuente: González L (2009). Guía control estadístico de procesos (CEP). Recuperado de https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/productos_acuicolas/_archivos/0000_CEP%20Trucha%20Congelada.pdf. Consultado el 22 de febrero de 2022.

Conforme a (Hernández y da Silva, 2016) es preferible y muchas veces poder comparar el dato de CP y Cpk, ya que brindará un panorama más grande sobre el proceso y su comportamiento. La relación que existe entre el CP y el Cpk es que al tener un resultado pequeño de Cpk, indica que el proceso es variable, por lo tanto, el CP será alto. Por otra parte, cuando el número de CP es igual o parecido al dato de Cpk, indica que no existe un problema significativo y su comportamiento es similar.

7.3. **Calidad total**

La calidad es un concepto que se ha desarrollado conforme el paso del tiempo, y en donde han surgido varias definiciones, una de estas es la calidad total, que se considera como el último concepto que se tiene actualmente, y hace

referencia a la implementación de sistemas de gestión para poder alcanzar la mejora continua. La calidad total en el ámbito de manufactura se describe como una idea que busca mantener los procesos productivos bajo controles estadísticos, a través de herramientas de calidad total que les ayude a la disminución de los productos defectuosos y que supere las expectativas de los clientes.

Se tiene el concepto erróneo de medir la calidad únicamente al producto final, sin embargo, la calidad debe de estar presente en el proceso productivo. Es por esto, que ahora el concepto se define como Calidad total, ya que la calidad debería de ser total y estar comprendida en cada área, operación y/o cualquier aspecto del proceso de producción, es decir la calidad se incorpora en el sistema y busca desde un principio que el producto final sea producido correctamente desde el inicio y así aumentar la rentabilidad, productividad y disminuir la probabilidad de productos defectuosos.

Se ha observado que el concepto de calidad total se ha convertido en un mecanismo implementado en las grandes industrias, ya que al ser un modelo de excelencia operativa promete dar resultados tanto a corto, mediano y largo plazo, poder asegurar normas, requisitos, satisfacer necesidades y la disminución de los residuos generados por causas no comunes. Es por lo que se considera como una estrategia de productividad.

Como se mencionaba anteriormente, el objetivo de la calidad total es buscar perfeccionar continuamente los procesos. De acuerdo con Maldonado (2018), la nueva estrategia establecida para lograr esta mejora se conoce como Gestión de calidad total, y prácticamente es una herramienta que busca la cual se define como una práctica que busca corregir los resultados erróneos de cada actividad, operación o área con el menor costo posible. En la figura 7 se muestra el

diagrama del proceso cíclico que permitirá obtener este perfeccionamiento del proceso, como se puede observar uno de los principales focos es el recurso humano, desde clientes, empleados, proveedores y la sociedad, en donde se busca cumplir la satisfacción de necesidades.

Figura 7. **Esquema del proceso continuo de gestión**



Fuente: Maldonado (2018). *Fundamentos de calidad total*. Recuperado de hh2022 de https://www.FUNDAMENTOS_DE_CALIDAD_TOTAL-with-cover-page-v2.pdf (d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net)el. Consultado el 22 de febrero de 2022.

7.3.1. **Herramientas del control de la calidad**

Según Alzate y Osorio (2017), durante el proceso de mejora se busca detectar las causas que originan variabilidades o desviaciones, y esto a través del uso de herramientas, que permitan realizar un análisis profundo de los procesos e identificar en qué actividad o tarea ocurrió un error fuera de lo habitual que provocó una variación significativa. Debido a la complejidad de los procesos manufactureros que involucran demasiadas variables, es necesario tener una

visualización del proceso a través del uso de un diagrama de flujo el cual fue descrito anteriormente, pues va a ayudar a determinar qué puntos del proceso son críticos para su monitoreo y análisis

Realizar un análisis de las variaciones del proceso significa categorizar al proceso, como un proceso favorable o desfavorable cuando se trata en términos productivos y económicos, pues es necesario definir cuánto afecta esta variación, cuánto cuestan los errores del proceso, cuáles son las variaciones incontrolables, las variaciones controlables por motivos operativos y cómo influye en la calidad del producto final.

Una variación no va a indicar la causa del problema, por esta razón, es necesario ejecutar una evaluación de todas aquellas variaciones que afecten significativamente al proceso con la ayuda de la observación, investigación o a través de la realización de trazabilidades desde el momento en el que ocurrió la desviación.

En función de los resultados alcanzados, en el proceso se pueden identificar las no conformidades y determinar cuáles son las causas de este comportamiento. Para el análisis de la causa raíz de un problema, hay varias técnicas cuyo objetivo son determinar las relaciones de causa y efecto, que generan un problema específico y eliminar o prevenir otras causas que no estaban contempladas en el proceso para que ya no representen un riesgo.

Comenta Castelo et al., (2018), algunas de las técnicas más comunes para el análisis de causa raíz son, los 5 porqués, una técnica de cuestionamiento del problema que busca profundizar con cada pregunta y respuesta que surge. Otra técnica es la de cambios / sucesos, en donde se analizan qué cambios originan un impacto, sin importar si este impacto es positivo o negativo, si influye

significativamente o no. Finalmente, uno de los más comunes, el diagrama de Ishikawa o pescado, en donde cada ramificación se coloca una causa hasta lograr profundizar al origen del problema y así determinar la causa raíz.

Estas técnicas cualitativas permiten definir la variación del problema y la causa que lo ocasiona, sin embargo, no son técnicas que sean capaces para el monitoreo de las variaciones de un proceso. Al hablar de monitoreo y control de procesos, se enfoca en herramientas matemáticas estadísticas que proporcionarán datos técnicos, para identificar las variaciones de una manera rápida y específica. Entre las herramientas de ingeniería más utilizadas para el control de procesos se encuentran los gráficos de control.

7.3.2. Gráficos de control

Son aquellas representaciones gráficas del comportamiento de las variables involucradas en el proceso respecto al tiempo, la finalidad del uso de estos gráficos es la supervisión de procesos, detección de circunstancias que puedan alterar al mismo y disminuir costos asociados a la variabilidad.

La estructura del diagrama consiste en un eje vertical en donde se llevará el registro de la variable que se desea medir, un eje horizontal que representa el tiempo para visualizar su comportamiento en un lapso, dos líneas horizontales definidas como, límite de control inferior (LCI) y límite de control superior (LCS), asimismo, una línea central que representa el *target*, es decir la medición objetivo en el que debería permanecer la variable monitoreada.

Esta estructura permite identificar si el proceso se encuentra o no bajo control, visualizar si los datos se localizan al alta, cercanos al límite superior, o a

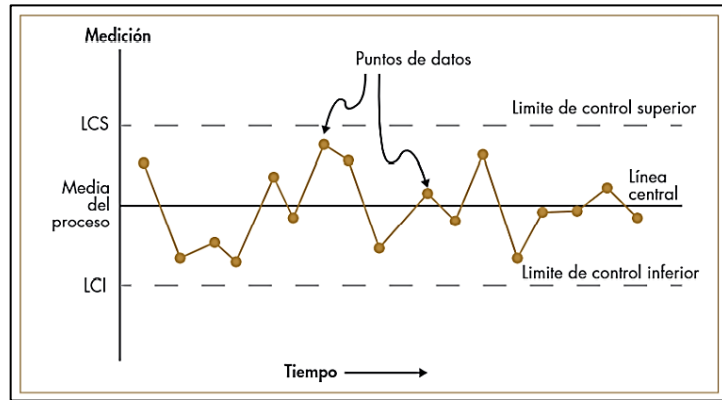
la baja, cercanos al límite inferior y así poder modificar el proceso para lograr mantenerlo lo más cercano al objetivo.

En la figura 8 se muestra la estructura de un diagrama de control, tal y como se presenta, los puntos de datos se encuentran dispersos debido a la variación inherente del proceso, por diferentes factores como materia prima, maquinaria, mano de obra y ambiente, estos factores se designan como causas comunes y se podría decir que este se encuentra en un rango estadístico aceptable.

7.3.2.1. Proceso controlado

Conforme a la ubicación de los puntos en el gráfico, es bastante sencillo identificar si un proceso se encuentra controlado o no, esto basándose en los siguientes criterios, los datos se encuentran dentro de los límites permisibles, no deben de haber puntos fuera de este rango, se deben de encontrar lo más cercano al *target* o línea central, y deben de permanecer divididos tanto arriba como por debajo del *target*, ya que este comportamiento hace referencia que las variaciones son provenientes a causas comunes, es decir, causas que son monitoreadas, que se encuentran bajo control y que no representan un riesgo para la calidad del producto.

Figura 8. Estructura del gráfico de control



Fuente: Alzate W. y Osorio J. (2017). *Aplicación de los diagramas de control para el análisis e inspección de las variaciones derivadas del costo estándar*. Recuperado de ISSN 1900-0642. Consultado el 10 de febrero de 2022.

En un proceso no controlado, ocurre lo contrario con los criterios anteriores, en este caso el patrón detectable es que los puntos se encuentran fuera del rango de especificación, están distribuidos de manera dispersa y muy variada, lo cual indica que están presentes fluctuaciones muy marcadas o desviaciones especiales, las cuales usualmente son condiciones atípicas que muchas veces se atribuyen a causas específicas. La figura 9 es un ejemplo de cómo luce un proceso no controlado debido a desviación especial.

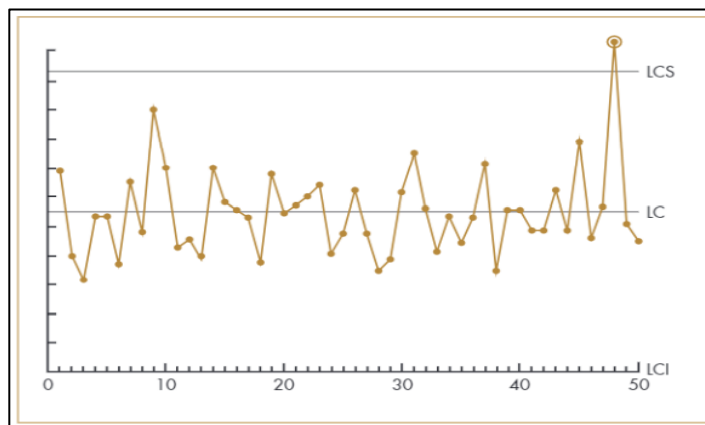
Los cambios súbitos en el promedio de los datos, es otro patrón detectable cuando no hay control, y esto se observa como varios puntos consecutivos alejados del *target*, comúnmente pegados a las líneas superiores e inferiores, y este comportamiento es considerado como un indicador de alguna falla repentina que se logró arreglar en un lapso, pero que aun así provocó un sesgo en los datos. Este tipo de patrón es común observarlo en inicio de producciones, pues al iniciar el proceso este no se encuentra estable en su totalidad, conforme el

paso del tiempo se espera que el proceso se estabilice y no se observe un cambio significativo en las variables del proceso.

El análisis de los procesos es elemental para conocer su comportamiento y predecir resultados, sin embargo, analizar un proceso inestable no es de provecho, esto debido a que se tiene presente muchas causas especiales, lo cual provoca que este ya no sea previsible, y por lo tanto no va a generar información útil para poder tomar una decisión acertada con base a este gráfico. Es necesario eliminar cualquier causa especial para lograr mantener el proceso bajo control estadístico y que permita evaluar la capacidad real del proceso a través de la comparación de la variabilidad asociada únicamente con las causas comunes o inherentes del mismo.

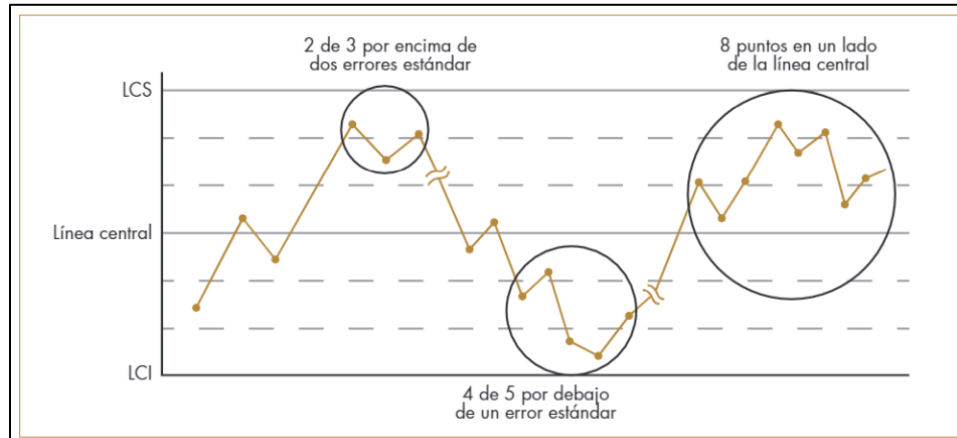
En la figura 9 se muestra un ejemplo de cómo se observa un gráfico de control con cambios súbitos.

Figura 9. **Proceso no controlado debido a desviación especial**



Fuente: Alzate W. y Osorio J. (2017). *Aplicación de los diagramas de control para el análisis e inspección de las variaciones derivadas del costo estándar*. Recuperado de ISSN 1900-0642. Consultado el 10 de febrero de 2022.

Figura 10. **Proceso no controlado debido a cambios súbitos**



Fuente: Alzate W. y Osorio J. (2017). *Aplicación de los diagramas de control para el análisis e inspección de las variaciones derivadas del costo estándar*. Recuperado de ISSN 1900-0642. Consultado el 10 de febrero de 2022.

7.3.3. Pasos para generar el gráfico de control

Para poder elaborar un gráfico de control es necesario cumplir con una serie de 5 pasos, con la finalidad de confirmar que se tiene toda la información necesaria y útil para la construcción de este, y que los resultados que se proporcionen en el gráfico sean confiables y describan de manera acertada cualquier comportamiento. Los pasos por seguir son los siguientes:

- El primer paso es la etapa de la preparación, en donde se debe de establecer o definir la variable que se va a registrar, es decir, la variable de interés de la operación y la frecuencia de la medición, esta frecuencia se define conforme la inestabilidad del proceso y de la criticidad de la variable de interés.

- Durante el apartado de recopilación de datos, se debe de realizar las mediciones durante el tiempo establecido y registrar los datos para calcular valores estadísticos.
- En el paso 3 es primordial realizar la definición de límites de control o el rango a evaluar, mediante el cálculo del promedio de los datos y determinar los límites de control con sus respectivas fórmulas para darse una idea del estado actual del proceso.
- La etapa de análisis del gráfico es de las más importantes, pues se debe de evaluar la gráfica y observar tendencias, puntos fuera de control o los patrones descritos con anterioridad, con el objetivo de solucionar cualquier anomalía.
- Buscar una solución al problema encontrado, se considera como el paso final de la elaboración, pues en esta etapa se debe de identificar aquellos puntos que no se encuentran dentro de los rangos y realizar la respectiva investigación de qué pasó en ese momento, si fue una causa especial, es decir, algo muy puntual o si es una desviación del proceso que no se ha logrado reparar, para esto es necesario hacer el análisis de causa raíz y así implementar acciones correctivas y preventivas que permitan mejorar el desempeño de nuestro proceso.
- Al finalizar con todas las etapas y con las correcciones implementadas en el paso anterior, es necesario continuar con el monitoreo de los datos obtenidos en el gráfico para asegurar que las acciones tomadas fueron las correctas.

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 REFERENCIAL

1.1 Estudios previos (recientes)

1.2 Antecedentes

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Jarabe simple

2.1.1. Sacarosa

2.1.2. Variables involucradas en la preparación de jarabe simple

2.2. Proceso productivo

2.2.1. Modelo de administración de procesos

2.2.1.1. Diagrama SIPOC

2.2.1.2. Diagrama de flujo de procesos

2.2.2. Variabilidad

2.2.3. Mermas

- 2.2.4. Capacidad del proceso
- 2.3. Calidad total
 - 2.3.1. Herramientas del control de la calidad
 - 2.3.2. Gráficos de control
 - 2.3.2.1. Proceso controlado
 - 2.3.2.2. Proceso no controlado
 - 2.3.3. Pasos para generar un gráfico de control

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

- 3.1. Características del estudio
 - 3.1.1. Diseño
 - 3.1.2. Enfoque
 - 3.1.3. Alcance
 - 3.1.4. Unidad de análisis
- 3.2. Variables
- 3.3. Fases del desarrollo de la investigación
 - 3.3.1. Fase 1
 - 3.3.2. Fase 2
 - 3.3.3. Fase 3
 - 3.3.4. Fase 4
- 3.4. Técnicas de análisis

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5. 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 la propuesta del sistema de gráficos de control, para el proceso de elaboración de azúcar líquida en una embotelladora de bebidas carbonatadas.

9.1. Características del estudio

El enfoque del estudio propuesto es cuantitativo y cualitativo, esto debido a que la información recopilada es secuencial, cuantificable y probatoria, es decir, se va a realizar una experimentación y posteriormente un análisis de datos estadístico de las variables de temperatura, densidad y concentración. Por otra parte, es cuantitativo ya que se tienen fundamentos teóricos recuperados de estudios similares, los cuales se encuentran detallados en antecedentes y marco teórico.

El alcance del estudio será correlacional, dado que se intenta exponer cómo la variación de la temperatura afecta variables como densidad y concentración, y demostrar que estas tienen una relación directa con la generación de mermas en el proceso de producción de jarabe simple.

El diseño adoptado será experimental, pues durante la recolección de los datos de temperatura, se modificarán distintos rangos para analizar el comportamiento de la merma de jarabe simple; además será transversal pues, se estudiará las variables críticas del proceso de elaboración de jarabe simple,

las cuales son temperatura, densidad y concentración en un lapso de 1 a 2 meses de investigación y se utilizarán herramientas estadísticas como los gráficos de control para representar los resultados obtenidos.

La presente investigación es de tipo cuantitativa-explicativa, ya que esta considera evaluar en qué medida mejora la disminución de mermas en un proceso de elaboración de jarabe simple a través de la definición y monitoreo de las variables críticas del proceso mediante un gráfico de control.

9.2. Unidades de análisis

La población en estudio será la solución azúcar – agua del proceso de elaboración de jarabe simple, de una empresa de bebidas carbonatadas de Guatemala. La técnica por utilizar será la recolección de datos de manera semanal, que serán estudiados para conocer el comportamiento del proceso y poder modificar estas variables / parámetros, hasta lograr obtener un proceso bajo control estadístico.

9.3. Variables

Entre las variables que se estudiarán para poder evaluar las mermas producidas en el proceso de elaboración de jarabe simple se encuentran:

- Temperatura
- Densidad
- Concentración
- Merma
- Límites de especificación
- Gráficos de control

- ¿Cuál es el sistema de monitoreo para el registro de datos de las variables críticas del proceso?

Tabla II. **Pregunta auxiliar 1**

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Temperatura	Magnitud física que expresa el grado de frío o calor de un cuerpo	Termómetro (°C)
Densidad	Magnitud que expresa la relación entre la masa y volumen de un cuerpo.	Densímetro (kg/L)
Concentración	Magnitud que expresa la cantidad de una sustancia por unidad de volumen.	Densímetro (°Bx)

Fuente: elaboración propia.

- ¿Cuáles son los rangos de temperatura que generan la menor cantidad de mermas en un proceso de producción de azúcar líquida?

Tabla III. **Pregunta auxiliar 2**

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Temperatura	Magnitud física que expresa el grado de frío o calor de un cuerpo	Termómetro (°C)
Merma	Pérdida o reducción de materia prima debido a fluctuaciones.	Volumen producido de jarabe simple (L)

Fuente: elaboración propia.

- ¿Cuáles son los límites máximos de temperaturas permisibles que generan un menor costo en las mermas de azúcar líquida?

Tabla IV. **Pregunta auxiliar 3**

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Límites de especificación	Valores dentro de los cuales debería de funcionar un proceso.	Capacidad del proceso (Cpk)
Merma	Pérdida o reducción de materia prima debido a fluctuaciones	Volumen producido de jarabe simple (L)

Fuente: elaboración propia.

- ¿El gráfico de control permitirá darles seguimiento a las mermas a través de un monitoreo de temperaturas dando como resultado el aumento en la eficiencia del proceso?

Tabla V. **Pregunta auxiliar 4**

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Gráfico de control	Diagrama que examina si un proceso se encuentra en una condición de control estadístico.	Capacidad del proceso (Cpk)

Fuente: elaboración propia.

9.4. Fases del estudio

A continuación, se describen las 4 fases que ayudarán a desarrollar dicha investigación, la cual se realizará a través de toma y análisis de datos, para posteriormente definir los parámetros correctos que minimicen la generación de mermas en el proceso de jarabe simple.

Las 4 fases que permitirán cumplir los objetivos de la investigación deben de llevarse de la siguiente forma:

9.4.1. Fase 1: exploración bibliográfica

La primera fase se enfocará en realizar una consulta bibliográfica, sobre el proceso de jarabe simple en otras industrias de alimentos, esta consulta permitirá profundizar las definiciones de conceptos de interés como lo son la temperatura, densidad y concentración. Asimismo, observar su dependencia y relación entre estas variables a través de modelos matemáticos desarrollados en otros estudios.

9.4.2. Fase 2: gestión o recolección de la información

La segunda fase consiste en la recolección de datos, la cual brindará información acerca de cómo se encuentra el proceso, y permitirá encontrar la relación que existe entre las variables críticas de temperatura, densidad y concentración.

La recolección de datos se realizará a través de toma de muestras de la solución de jarabe simple, en donde se medirá la temperatura con un termómetro, la concentración y densidad con el uso de un densímetro de laboratorio. Al determinar el comportamiento del proceso y el rango en el que se maneja, este se dividirá en 3 rangos más pequeños, lo cual permitirán disminuir la variabilidad del proceso. En la sección técnica de análisis se muestra el diseño experimental que se propone para la investigación.

9.4.3. Fase 3: análisis de información

En la tercera fase se analizará la información obtenida en la fase 2, esto a través del uso de herramientas estadísticas de análisis de datos como correlación, capacidad del proceso y gráficos de control, esto con el objetivo de

definir cuál es la variabilidad del proceso y proponer cuáles son los mejores parámetros para la operación de este proceso.

9.4.4. Fase 4: interpretación de información

Como última fase se tiene la interpretación de la información, esto a través de un informe de investigación que permita evaluar la propuesta para la implementación de un sistema de gráficos de control, que prevenga y minimice la generación de mermas en el proceso de jarabe simple.

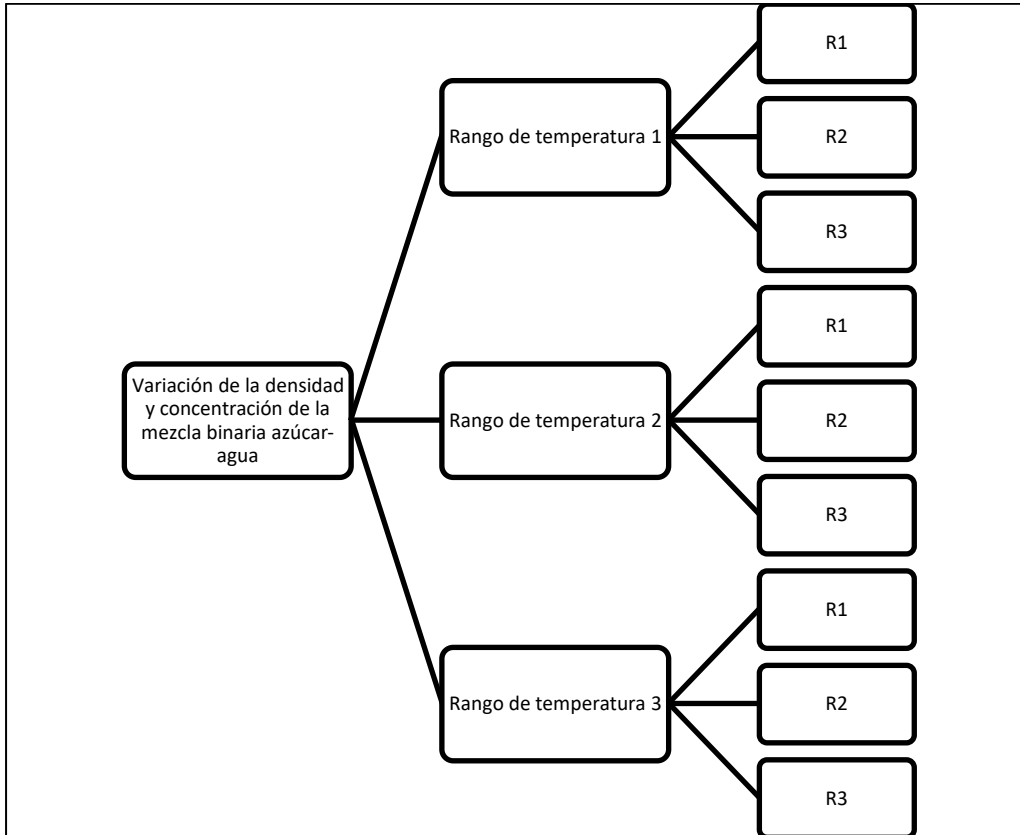
10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

En la investigación se utilizarán técnicas de la estadística descriptiva. Inicialmente se hará uso de la media y desviación estándar, para evaluar la dispersión de los datos en la que se encuentra el proceso de elaboración de azúcar actualmente. Como segundo paso, se utilizará para definir rangos de temperatura y delimitar el diseño experimental, asimismo ayudará a determinar el índice de capacidad del proceso y los límites de especificación a utilizar en el gráfico de control a implementar con el rango de temperatura definido con anterioridad. Finalmente, se realizará un análisis de varianza de un factor (ANOVA), para probar que sí existe o no existe una diferencia significativa entre los 3 distintos rangos de temperatura propuestos.

- Diseño experimental

El diseño experimental consistirá en evaluar la dependencia de la densidad y concentración, al modificar la temperatura del proceso en 3 distintos rangos, con 3 repeticiones en cada rango, lo que da como resultado, 3 rangos diferentes de temperatura distribuidos de la siguiente manera:

Figura 11. **Diseño experimental**



Fuente: elaboración propia, realizado con Lucidchart.

- Número de repeticiones

El número de repeticiones se determinó a un nivel de confianza del 95 %, nivel de significancia del 5 % y error estimado del 25 %.

$$n = \frac{p * q * (Z_{\alpha/2})^2}{e^2}$$

Donde:

n = número de repeticiones

p = probabilidad de éxito

q = probabilidad de fracaso

Z $\alpha/2$ = variable aleatoria en función del nivel de significancia

α = nivel de significancia

e = error estimado

$$n = \frac{0.95 * 0.05 * (1.96)^2}{0.25^2} = 2.92 \cong 3 \text{ repeticiones}$$

- Media muestral:

La media o media aritmética, es la medida de tendencia central.

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

Donde:

\bar{x} = media de un conjunto de valores muestrales

$\sum x$ = sumatoria de los valores de datos individuales

n = número de valores de datos en una muestra

- Desviación estándar muestral

La desviación estándar de un conjunto de valores muestrales es una medida de cuánto se desvían los valores de datos de la media.

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Donde:

s = desviación estándar muestral

x = valores de datos individuales

\bar{x} = media muestral

n = tamaño de la muestra

- Análisis de varianza de un factor (ANOVA)

El análisis de varianza de un factor es un método utilizado para probar la igualdad de tres o más medias poblacionales, mediante el análisis de varianzas muestrales. Se utilizará para determinar si existe una diferencia significativa en el comportamiento de la densidad y concentración si se varía los rangos de temperatura operacionales.

Tabla VI. **Cálculo para el análisis de varianza en función de la suma de cuadrados**

Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	Cálculo de F
$SS_T = \sum X^2 - \frac{(\sum X^2)}{N}$	N-1		$F = \frac{S_E^2}{S_D^2}$
$SS_E = \left[\frac{(\sum X_1)^2}{n_1} + \frac{(\sum X_2)^2}{n_2} + \frac{(\sum X_k)^2}{n_k} \right] - \frac{(\sum X)^2}{N}$	k-1	$S_E^2 = \frac{SS_E}{k-1}$	
$SS_D = SS_T - SS_E$	N-k	$S_D^2 = \frac{SS_E}{N-k}$	

Fuente: Estrada. (2019). *Extracción del aceite esencial del flavelo de la naranja dulce, proveniente de los desechos industriales, utilizando el método de destilación por arrastre con vapor a escala planta piloto, para su aplicación en la formulación de cosméticos.* p. 91.

Donde:

SST = Suma de cuadrados total

SSE = Suma de cuadrados entre grupos

SSD = Suma de cuadrados dentro de grupos

SE = Varianza entre grupos

SD = Varianza dentro de grupos

N = Número total de datos

k = Número de grupos

x = Cada uno de los datos de cada grupo

n1, n2, nk = Número de datos en cada grupo

F = Distribución de Fisher

- Capacidad del proceso e índice de capacidad

El índice de capacidad del proceso es una herramienta que da como resultado la capacidad que tiene un proceso para producir un resultado dentro de límites predefinidos. Este se utilizará para corroborar la variabilidad del proceso de jarabe simple.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

$$C_{pk} = \min \left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{LIE - \mu}{3\sigma} \right)$$

Donde:

LSE = Límite superior de especificación

LSI = Límite inferior de especificación

σ = Desviación estándar

M = Media

- Gráficas de líneas

Las gráficas de líneas pretenden mostrar la relación que existe entre la variable independiente (temperatura) y las variables dependientes (densidad y concentración).

- Tabla de control

La tabla de control es una herramienta de control de la calidad que se utilizará para el registro de la toma de datos.

- Gráficos de control

Los gráficos de control servirán para representar de manera gráfica el comportamiento de los datos del proceso de jarabe simple respecto al tiempo, e identificar de manera sencilla si existe variabilidad entre ellos.

11. CRONOGRAMA

Se presenta un cronograma el cual especifica el tiempo en meses, en los cuales se llevará a cabo las actividades para el desarrollo de la tesis de la maestría de gestión industrial.

Tabla VII. **Cronograma de actividades**

Actividad / Fechas	Ene - Mar 22	abr-22	may-22	jun-22	jul-22	ago-22	sep-22	oct-22	nov-22	dic-22
Aprobación de protocolo de investigación										
Diseño de experimentación										
Recolección de la información										
Análisis de la información										
Interpretación de la información										
Elaboración informe final y artículo científico										

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El trabajo de investigación es factible ya que se cuenta con los recursos necesarios para poder ejecutar cada una de las fases de la investigación. La embotelladora autoriza la realización de dicha investigación y proporcionará los siguientes recursos:

- Humano: personal a disposición para realización de tareas como toma de datos.
- Información: acceso a información requerida por la investigación.
- Equipo e infraestructura: acceso a laboratorios, uso de equipo para realizar las mediciones dentro de la empresa.

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

Tabla VIII. **Costos para desarrollo de la investigación**

No.	Recurso	Descripción del gasto	Monto (Q)	Porcentaje
1	Intelectual	Asesor de investigación	2,500.00	25
2	Material	Papelería y útiles	2,000.00	20
3	Cristalería	<i>Beackers</i> para muestras	500.00	5
4	Transporte	Consumo de combustible	2,000.00	20
5	Alimentación	Alimentación	2,000.00	20
6	Tecnológico	Internet	500.00	5
7	Varios	Imprevistos (5 %)	500.00	5
			Q 10,000.00	100 %

Fuente: elaboración propia.

REFERENCIAS

1. Abu-Reidah, I. M. (2020). *Bebidas carbonatadas*. Tendencias en bebidas carbonatadas no alcohólicas, 1–36. doi:10.1016/b978-0-12-816938-4.00001-x
2. Alzate, W., y Osorio, J. (2017). *Aplicación de los diagramas de control para el análisis e inspección de las variaciones derivadas del costo estándar*. Criterio Libre, 15, 75–102. Recuperado de <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/criteriolibre/article/view/1042/807>
3. Aleryani A. (2016). *Estudio comparativo entre el diagrama de flujo de datos y el diagrama de casos*. Revista internacional de ciencia e investigación, 6, 124-127. Recuperado de https://www.academia.edu/22888763/Comparative_Study_between_Data_Flow_Diagram_and_Use_Case_Diagram?bulkDownload=thisPaper-topRelated-sameAuthor-citingThis-citedByThis-secondOrderCitations&from=cover_page
4. Brown, C. (2019). *Por qué y cómo emplear el modelo SIPOC*. *Continuidad Del Negocio y Planificación de Emergencias*, 12, 198–210. Recuperado de <https://www.ingentaconnect.com/content/hsp/jbcep/2019/00000012/00000003/art00002>

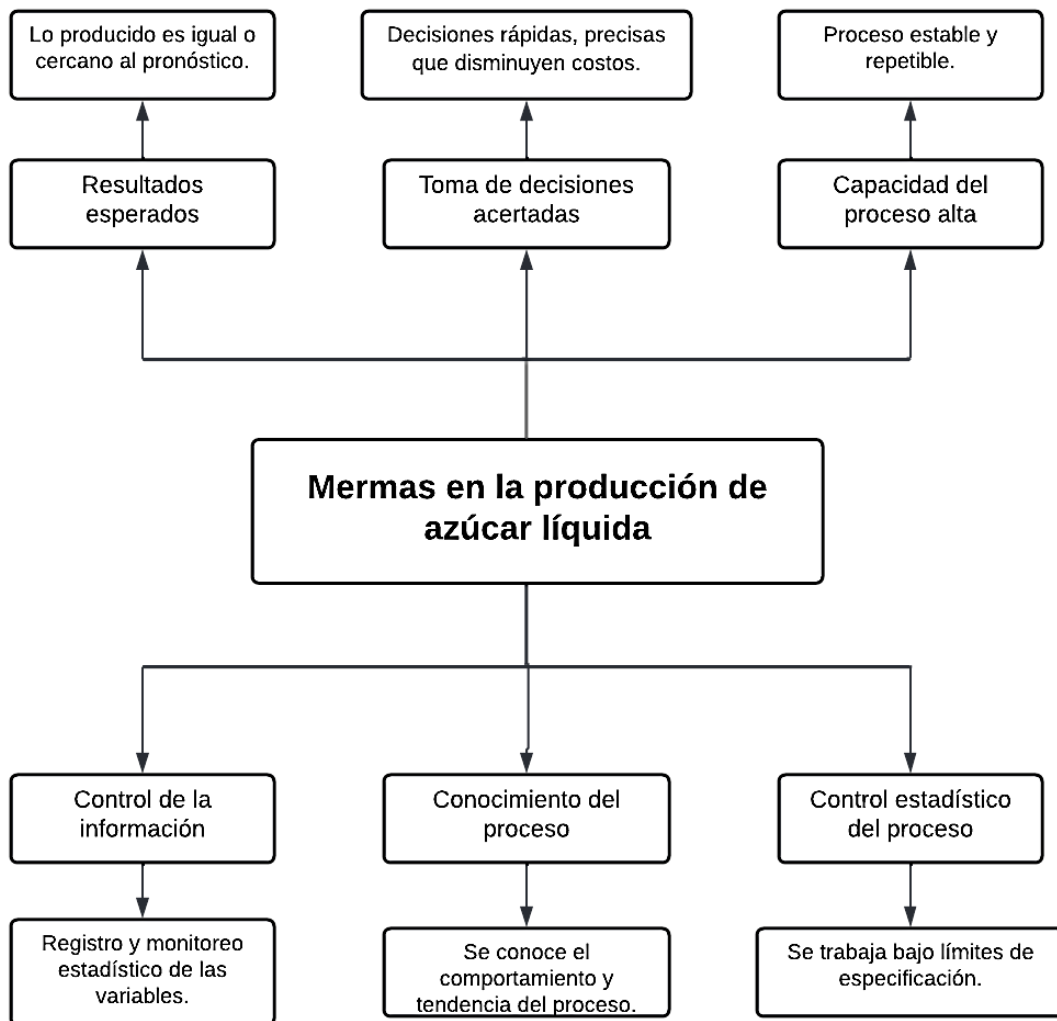
5. Cabrera, H., Medina, A., Puente, J., Rivera, D., Sánchez, O., y Núñez, Q. (2016). *Procedimiento para la identificación y evaluación de las oportunidades de mejora: medición de factibilidad e impacto*. Ingeniería Industrial, XXXVII, 104–111. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/3604/360443665010.pdf>
6. Castelo, Á., Pérez, R., Alarcón, P., y Castelo, W. (2018). *Aplicación Seis Sigma, a los procesos productivos, para optimizar la materia orgánica desperdiciada*. Sathiti: Sembrador, 269–280. Recuperado de <https://doi.org/10.32645/13906925.532>
7. Cruz, F., Pilar, A., y Ruiz, C. (2017). *Sistema de gestión ISO 9001:2015: Técnicas y herramientas de ingeniería de calidad para su implementación*. Ingeniería, Investigación y Desarrollo, 17, 59–69. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096091>
8. Darros, R., Balaban, O., y Teixeira, A. (2003). *Dependencia de la temperatura y la concentración de densidad de los alimentos líquidos*. Revista Internacional de Las Propiedades de Los Alimentos, 195–214. Recuperado de <https://doi.org/10.1081/JFP-120017815>
9. Estrada, J. (2015). *Extracción del aceite esencial del flavelo de la naranja dulce, proveniente de los desechos industriales, utilizando el método de destilación por arrastre con vapor a escala planta piloto, para su aplicación en la formulación de cosméticos*. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/936>

10. Faraz, A., Saniga, E., y Montgomery, D. (2018). *Diseño de gráfico de control basado en percentiles con una aplicación para Shewhart (\bar{X}) y desviaciones (S^2)*. Wiley. Published. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/qre.2384>
11. Fun, X., Wang, R., y Dong, Z. (2016). *Aplicación de una tabla de control Shewhart para monetizar cenizas limpias durante la preparación de control*. Revista Internacional de Procesamiento de Minerales. Published. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2016.11.019>
12. Giraldo, G., Cruz, C., y Sanabria, N. (2017). *Propiedades Físicas del Jugo de Uchuva (*Physalis peruviana*) Clarificado en Función de la Concentración y la Temperatura*. Información Tecnológica. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000100013>
13. González L. *Guía de control estadístico de procesos*. Recuperado de https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/productos_acuicolas/_archivos/000000_CEP%20Trucha%20Congelada.pdf
14. Hernández, C., y da Silva, F. (2016). *Aplicación del control estadístico de procesos (CEP) en el control de su calidad*. Tecnología Química, XXXVI, 130–145. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543786011.pdf>
15. Maldonado, J. (2018). *Fundamentos de calidad total*. Recuperado de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55591964/FUNDAMENTOS_DE_CALIDAD_TOTAL-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1645573318&Signature

16. Melgar, M. (2014). *El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala*. Artemis Edinter. Recuperado de <https://cengicana.org/info/el-cultivo-de-la-cana-de-azucar-en-guatemala>
17. Organización Internacional de Normalización. (ISO). *Diagramas para la industria química y petroquímica* (ISO 10628-1; 2015). Recuperado de <https://idoc.pub/documents/norma-iso-10628-wl1pzxgky9lj>
18. Sanchez-Marquez, R., y Jabaloyes Vivas, J. (2021). Creación de un gráfico de control de Cpk: un método novedoso y práctico para los profesionales. *Computers & Industrial Engineering*. Published. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107428>
19. Serva A. (2017). *Cadena de suministro internacional de empresas*. Recuperado de internationalsupplychaincocacola.blogspot.com
20. Villar, L., y Ledo, M. (2016). *Aplicación de herramientas estadísticas para el análisis de indicadores*. *Dialnet*, XXXVII, 138–150. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5560664>
21. Zavaleta, R. (2011). *Preparación de jarabes de sacarosa mediante mediciones volumétricas*. *Acta Nova*, 5, 110–137. Recuperado de <http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v5n1/v5n1a06.pdf>
22. Zhou, W., Cheng, C., y Zheng, Z. (2019). *Diseño óptimo de un gráfico de control de atributos para monitorear la media de los procesos autocorrelacionados*. *Computers & Industrial Engineering*. Published. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106081>

APÉNDICES

Apéndice 1. **Árbol de objetivos**



Fuente: elaboración propia, realizado con Lucidchart.

Apéndice 2. Matriz de coherencia



PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GRÁFICOS DE CONTROL QUE EVALÚE LAS MERMAS EN LA FABRICACIÓN DE AZÚCAR LÍQUIDA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS
<p>Las fluctuaciones de las variables involucradas en el proceso de producción de azúcar líquida provoca mermas, lo cual implica impactos económicos negativos y disminución de la eficiencia del mismo.</p>	<p>PRINCIPAL</p> <p>¿Cómo un sistema de gráficos de control disminuirá las mermas de producción de azúcar líquida en una fábrica de bebidas carbonatadas?</p> <p>AUXILIARES</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es el sistema de monitoreo para el registro de datos de las variables críticas del proceso? • ¿Cuáles son los rangos de temperatura que generan la menor cantidad de mermas en un proceso de producción de azúcar líquida? • ¿Cuáles son los límites máximos de temperaturas permisibles que generan un menor costo en las mermas de azúcar líquida? • ¿El gráfico de control permitirá monitorear las mermas a través de un monitoreo de temperaturas haciendo el proceso eficiente? 	<p>GENERAL</p> <p>Proponer un sistema de gráficos de control para disminuir las mermas de producción de azúcar líquida en una fábrica de bebidas carbonatadas.</p> <p>ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Monitorear el proceso productivo de azúcar líquida a través del registro de datos de temperatura, densidad y concentración. • Analizar los cambios en la generación de merma en el proceso de productivo de azúcar líquida en función de distintos rangos de temperatura. • Definir los límites máximos permisibles que representen un menor costo de merma a partir de la evaluación de los rangos de temperatura. • Diseñar un gráfico de control de que permita monitorear la merma en función del control de la temperatura del proceso.

Fuente: elaboración propia, realizado con Lucidchart.