



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

**PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE UN ÁREA DE FILTRACIÓN DE RESIDUOS DE CAÑA
DE AZÚCAR, UTILIZANDO FILTROS BANDA, EN UN INGENIO AZUCARERO
GUATEMALTECO, APLICANDO HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN FINANCIERA**

Josué Godoy Lechuga

Asesorado por M.C. Ing. Civil César Augusto Vásquez Estrada

Guatemala, junio de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE UN ÁREA DE FILTRACIÓN DE RESIDUOS DE CAÑA
DE AZÚCAR, UTILIZANDO FILTROS BANDA, EN UN INGENIO AZUCARERO
GUATEMALTECO, APLICANDO HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN FINANCIERA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSUÉ GODOY LECHUGA

ASESORADO POR M.C. ING. CÉSAR AUGUSTO VÁSQUEZ ESTRADA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, JUNIO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. 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

DECANO	Ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Dinna Lissette Estrada Moreira de Rossal
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Godínez Lémus
EXAMINADOR	Ing. Gerardo Ordóñez
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:

PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE UN ÁREA DE FILTRACIÓN DE RESIDUOS DE CAÑA DE AZÚCAR, UTILIZANDO FILTROS BANDA, EN UN INGENIO AZUCARERO GUATEMALTECO, APLICANDO HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN FINANCIERA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 13 de abril de 2023.

A handwritten signature in black ink, enclosed in a faint oval border. The signature is cursive and appears to read 'Josué Godoy Lechuga'.

Josué Godoy Lechuga



EEPFI-PP-0339-2023
Guatemala, 13 de abril de 2023

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: **PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE UN ÁREA DE FILTRACIÓN DE RESIDUOS DE CAÑA DE AZÚCAR, UTILIZANDO FILTROS BANDA, EN UN INGENIO AZUCARERO GUATEMALTECO, APLICANDO HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN FINANCIERA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gerencia Estratégica - Planeación de proyectos**, presentado por el estudiante **Josué Godoy Lechuga** carné número **201700718**, 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. César Augusto Vásquez Estrada
Asesor(a)

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.0338.2023

El Director de la Escuela De Ingenieria Quimica de la Facultad de Ingenieria 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: **PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE UN ÁREA DE FILTRACIÓN DE RESIDUOS DE CAÑA DE AZÚCAR, UTILIZANDO FILTROS BANDA, EN UN INGENIO AZUCARERO GUATEMALTECO, APLICANDO HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN FINANCIERA**, presentado por el estudiante universitario **Josué Godoy Lechuga**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria 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 2023



Decanato
Facultad e Ingeniería
24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.18.2023

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: **PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE UN ÁREA DE FILTRACIÓN DE RESIDUOS DE CAÑA DE AZÚCAR, UTILIZANDO FILTROS BANDA, EN UN INGENIO AZUCARERO GUATEMALTECO, APLICANDO HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN FINANCIERA**, presentado por: **Josué Godoy Lechuga** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Aurelia Anabela Cordova Estrada', enclosed within a hand-drawn oval.

Firmado digitalmente por AURELIA ANABELA CORDOVA ESTRADA Fecha: 12/06/2023 02:21:30 p.m. Razón: Orden de impresión Ubicación: Facultad de Ingeniería, USAC.

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, junio 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: 18 CUI: 2956183610612

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	Por la vida y salud que me ha otorgado en mis estudios.
Mis padres	Sergio Godoy y Patricia Lechuga por su esfuerzo y apoyo realizado para que pudiera superarme académicamente.
Mis hermanos	Lucía, Pablo y Sara Godoy por motivarme y apoyarme a seguir adelante.
Mis amigos	Brian López, Cesia Bravo, Diana Lizama y María José Franco por su compañía y amistad, por apoyo y motivación a lo largo de la carrera.
Mi abuela	Hilda Ávila por estar a nuestro lado siempre y ser una fuente de apoyo incondicional.
Mi abuelo	Lorenzo Lechuga (q. e. p. d.) porque estaría orgulloso de mis logros.
Mi tía	Marlene Lechuga por su apoyo y confianza.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios y formarme como profesional.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme las herramientas para desempeñarme en mi carrera profesional.
Mi familia	Por su apoyo, paciencia y amor.
Mi asesor	Ing. César Vásquez por su guía y apoyo en la elaboración de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
3.1. Descripción del problema	5
3.2. Formulación del problema	7
3.2.1. Pregunta central	7
3.2.2. Preguntas de investigación.....	7
3.3. Delimitación del estudio.....	7
3.3.1. Límite temporal.....	8
3.3.2. Límite geográfico	8
3.3.3. Límite espacial.....	8
3.4. Viabilidad de la investigación.....	8
3.5. Consecuencias de realizar la investigación.....	8
3.5.1. De realizarse.....	9
3.5.2. De no realizarse.....	9
4. JUSTIFICACIÓN	11

5.	OBJETIVOS.....	13
5.1.	General	13
5.2.	Específicos.....	13
6.	NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	15
7.	MARCO TEÓRICO	17
7.1.	Antecedentes agroindustria azucarera.....	17
7.1.1.	Historia	17
7.1.2.	Ubicación.....	18
7.1.3.	Actividad económica	19
7.1.3.1.	Productos	19
7.1.3.2.	Subproductos	19
7.1.3.3.	Servicios.....	20
7.1.4.	Áreas de trabajo	20
7.2.	Fabricación de azúcar	21
7.2.1.	Aspectos generales.....	21
7.2.2.	Molienda.....	21
7.2.3.	Clarificación.....	23
7.2.4.	Filtración.....	23
7.2.4.1.	Funcionamiento.....	24
7.2.4.2.	Equipos	25
7.2.4.2.1.	Filtros rotatorios	26
7.2.4.2.2.	Filtros banda	26
7.2.4.3.	Parámetros del proceso	28
7.2.4.4.	Rendimiento	29
7.2.5.	Evaporación	29
7.2.6.	Clarificación de meladura.....	30
7.2.7.	Cristalización	30

7.2.8.	Centrifugación.....	31
7.2.9.	Acondicionamiento y envasado	31
7.3.	Planeación de proyectos	32
7.3.1.	Estudio técnico	34
7.3.2.	Estudio financiero	34
7.3.2.1.	Determinación de costos	35
7.3.2.1.1.	Costos de producción...	35
7.3.2.1.2.	Costos administrativos .	36
7.3.2.1.3.	Costos de ventas.....	36
7.3.2.2.	Inversión total inicial	36
7.3.2.3.	Depreciación de activos.....	37
7.3.3.	Flujo de caja	37
7.3.4.	Tasa mínima aceptable de rendimiento	39
7.3.5.	Evaluación financiera.....	40
7.3.5.1.	Valor presente neto	40
7.3.5.2.	Tasa interna de retorno	42
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	45
9.	METODOLOGÍA.....	49
9.1.	Enfoque	49
9.2.	Diseño	49
9.3.	Tipo	50
9.4.	Alcance.....	50
9.5.	Variables e indicadores	50
9.6.	Matriz de consistencia	52
9.7.	Fases de la investigación	53
9.8.	Población y muestra	55
9.9.	Técnicas y metodología.....	56

9.10.	Resultados esperados.....	57
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS.....	59
11.	CRONOGRAMA	61
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	63
	REFERENCIAS	65
	APÉNDICES.....	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Esquema de solución.....	16
Figura 2.	Ubicación de las plantaciones de caña en Guatemala	18
Figura 3.	Diagrama de imbibición compuesta.....	22
Figura 4.	Filtro rotatorio al vacío	27
Figura 5.	Filtro banda al vacío	28
Figura 6.	Proceso de planeación de proyectos	33
Figura 7.	VPN vs TMAR..	42

TABLAS

Tabla 1.	Matriz de consistencia.....	53
Tabla 2.	Cronograma	62
Tabla 3.	Recursos necesarios para la investigación	63

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
#	Cantidad
σ	Desviación estándar de la población
e	Error de estimación máximo esperado
FC_t	Flujo de caja en el tiempo t
°Brix	Grado Brix
°C	Grado Celsius
%	Porcentaje
%pol	Porcentaje de polarización
n	Tamaño de la muestra
N	Tamaño de la población
r	Tasa de descuento
t	Tiempo
Z	Tipificación del nivel de confianza de la distribución normal
tn/h	Tonelada por hora

GLOSARIO

Caja	Saldo de dinero en efectivo
CTN	Capital de trabajo neto
Eficiencia	Capacidad para realizar o cumplir adecuadamente una función.
Eficacia	Capacidad para lograr el efecto que se desea o se espera.
FED	Flujo de efectivo descontado
FODA	Fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas
Grados Brix	Concentración de sólidos disueltos en una solución.
Ingenio azucarero	Conjunto de instalaciones industriales dedicadas al procesamiento de la caña de azúcar para producir azúcar comercial.
Polarización	Concentración de azúcar en una solución.
Rendimiento	Proporción entre los recursos empleados para obtener algo y el resultado que se obtiene al final.

TIR	Tasa interna de retorno
TMAR	Tasa mínima aceptable de rendimiento
UAI	Utilidad antes de impuestos
UNDI	Utilidad neta después de impuestos
VPN	Valor presente neto
Zafra	Periodo en el que se desarrolla la cosecha de la caña de azúcar.

RESUMEN

La propuesta para diseñar una nueva área de filtración de residuos de caña en un ingenio azucarero guatemalteco se fundamenta en la utilización de filtros banda como alternativa a los filtros rotatorios convencionales, ya que poseen tecnologías de filtración más eficientes. La propuesta será justificada de acuerdo con las herramientas de evaluación financiera, valor presente neto y tasa interna de retorno, las cuales determinarán la rentabilidad económica de esta.

La metodología de la presente investigación posee un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo), no experimental, de tipo transversal y alcance descriptivo. El desarrollo de la presente investigación consistirá en cuatro fases, las cuales incluyen la revisión documental de registros, bitácoras y procedimientos provistos por el ingenio; el diagnóstico del proceso de filtración de residuos de caña con los equipos en ejecución a partir de la visita a las instalaciones del ingenio y la elaboración de entrevistas a los colaboradores; la determinación de los parámetros críticos del proceso de filtración de residuos de caña mediante la información recopilada; y la evaluación financiera de la propuesta de inversión en el diseño de un área de filtración de residuos de caña utilizando filtros banda.

La propuesta de diseño del área de filtración de residuos de caña presentará la cantidad de filtros banda a utilizar según los requerimientos del ingenio con sus respectivos equipos auxiliares, accesorios, infraestructura, entre otros; el diseño estará basado en el diagnóstico del proceso de filtración de residuos de caña, con el cual se determinarán las fallas y oportunidades de mejora.

El diseño propuesto incrementará el rendimiento de recuperación de azúcar, reducirá las pérdidas de azúcar en los residuos desechados, reducirá los costos de producción de azúcar y aumentará el beneficio económico del ingenio. El análisis de los parámetros críticos del proceso de filtración de residuos de caña permitirá establecer los indicadores que evalúen la eficiencia y eficacia de este. La metodología de evaluación financiera determinará la rentabilidad económica de la propuesta de inversión.

1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación es una optimización del diseño de un área de filtración de residuos de caña en un ingenio azucarero guatemalteco, mediante la utilización de filtros banda, los cuales incrementarán la capacidad operativa y la eficiencia del proceso de filtración. El diseño propuesto será estructurado según la planificación de proyectos, en la cual se desarrollará un estudio técnico, un estudio financiero y por último se determinará la rentabilidad del proyecto mediante herramientas de evaluación financiera.

La problemática del ingenio azucarero se encuentra en la filtración de residuos de caña. El proceso de filtración es ineficiente debido a la utilización de filtros rotatorios, ya que poseen diseños antiguos y poco efectivos, lo cual afecta el rendimiento de recuperación de azúcar de forma negativa, aumentando las pérdidas de azúcar en los residuos desechados. Las consecuencias generadas son el aumento de los costos de producción y la reducción de ganancias en la venta del producto final, lo cual representa pérdidas importantes de efectivo para el ingenio azucarero.

La importancia de diseñar una nueva área de filtración de residuos de caña es evitar la reducción de la eficiencia y eficacia en la recuperación de azúcar; utilizar equipos de filtración que minimicen las pérdidas de azúcar en los desechos filtrados; mantener los costos productivos y la rentabilidad económica de la fabricación de azúcar.

Los resultados esperados de esta investigación son el diseño de un área de filtración utilizando filtros banda y determinar la rentabilidad financiera de llevar a cabo este proyecto. La investigación permitirá incrementar el rendimiento de azúcar producida por unida de caña cultivada, reducir los costos de producción y aumentar el beneficio económico del ingenio, favoreciendo a su vez la competitividad que posee en el mercado local e internacional.

El esquema de solución establecido para este trabajo de investigación inicia con la revisión documental del proceso de filtración de residuos de caña; seguidamente se realiza el diagnóstico del proceso de filtración; con la información recopilada serán determinados los parámetros críticos del proceso de filtración, la cual permitirá el diseño y dimensionamiento de la nueva área de filtración; por último, se evaluará la rentabilidad financiera y el beneficio económico de llevar a cabo el nuevo diseño del área de filtración de residuos de caña. La información requerida para ejecutar el esquema de solución fue autorizada por el ingenio azucarero, por lo que, es factible realizar la presente investigación.

2. ANTECEDENTES

La tecnología de filtración de residuos de caña ha evolucionado a lo largo del tiempo, por lo que, para obtener mejores rendimientos de recuperación de azúcar es necesario actualizar los equipos y la maquinaria industrial. La inversión en este tipo de equipos debe ser evaluada para determinar su rentabilidad económica. Las siguientes investigaciones aportan información relevante sobre el diseño de proyectos industriales y su evaluación financiera.

En la tesis de Villegas y Espinal (2020) se desarrolló una metodología de estimación de costos fijos y variables para el diseño de un proyecto industrial. El trabajo de investigación enumera las consideraciones en materiales, servicios y sueldos que deben tomarse en cuenta al momento de determinar los costos del proyecto. Es un antecedente importante para esta investigación y conocer las consideraciones en costos que conlleva realizar un proyecto industrial como el que se pretende proponer.

Otro hallazgo relevante es el trabajo de tesis de Chacón y Mora (2020), en el cual se realiza un análisis de valoración financiera para determinar la rentabilidad de la empresa en un tiempo definido, utilizando el flujo de caja libre. Para la estructura del flujo de caja calcularon variables financieras tales como los ingresos antes de impuestos y la utilidad neta, con lo cual determinaron el flujo de caja neto para cada año proyectado. Este análisis se utilizará como base en esta investigación para la elaboración del flujo de caja que representará diseñar y construir un área de filtración de residuos de caña.

En la tesis de White (2018) fueron documentados los elementos a considerar al momento de establecer el monto económico inicial necesario para iniciar y mantener un proyecto industrial por un tiempo definido. La mayor contribución para esta investigación son los criterios para la selección de la maquinaria y los equipos que serán de utilidad para alcanzar los objetivos del proceso productivo. A su vez, la investigación aborda la proyección de ganancias que representa un proyecto de inversión mediante un intervalo de confianza del 90 %. De esta manera, la información y la conclusión de la evaluación financiera es más confiable.

En el trabajo de tesis de García (2018) se desarrolló el estudio técnico que conlleva la inversión en maquinaria para una planta industrial. En este estudio se considera la descripción del proceso, presupuesto y depreciación de la maquinaria y equipo, el valor de salvamento, descripción de las instalaciones, entre otros. Este tipo de estudio es muy similar al que debe ser realizado para el diseño de un área de filtración de residuos de caña, por lo que, el antecedente es un aporte fundamental para la presente investigación.

En la tesis de Veliz (2017) está documentado el procedimiento para la aplicación de las herramientas de evaluación financiera, las cuales permitirán establecer la rentabilidad económica de un proyecto de inversión. El aporte más importante para la presente investigación es la metodología empleada para calcular la tasa mínima aceptada de rendimiento (TMAR) en el territorio guatemalteco. Esta tasa es necesaria para utilizar las herramientas de evaluación de proyectos como el VPN y la TIR.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Ineficiencia en la filtración de residuos de caña, mediante filtros rotatorios, para la recuperación de azúcar. La utilización de filtros rotatorios no es la más adecuada debido a que poseen diseños antiguos y con capacidades limitadas. Esto produce que se pierda una cantidad sustancial de azúcar durante la filtración de los residuos de caña.

3.1. Descripción del problema

La fabricación de azúcar conlleva una serie de operaciones que buscan la purificación de este producto para su comercialización, lo cual a su vez genera una serie de residuos que deben ser desechados. Los residuos son separados en distintas etapas, pero la mayoría provienen del proceso de clarificación del jugo de azúcar, donde se busca la eliminación de los sólidos suspendidos mediante decantación y así obtener un jugo más limpio. La decantación de los sólidos forma un lodo líquido que posee una cantidad considerable de jugo de azúcar remanente.

La filtración es una operación en la cual se separa una fase líquida de una sólida, utilizando un medio filtrante como telas o algún otro material que posea aberturas de menor tamaño en comparación con el sólido que se desea filtrar. Mediante la filtración se logra recuperar gran parte del jugo que queda retenido en los residuos, lo cual aumenta la rentabilidad de la fabricación de azúcar.

El proceso de filtración requiere de equipos cilíndricos rotatorios, los cuales tienen telas en su contorno exterior, de modo que los residuos quedan

retenidos en la superficie de las telas y jugo se recolecta en el interior del cilindro. Para facilitar la filtración se utiliza un sistema de presión reducida denominado al vacío, el cual consiste en una bomba que succiona el jugo para que se vuelva a utilizar en el proceso de fabricación de azúcar.

El diseño y operación de los filtros rotatorios no es el más eficiente, ya que, la capa de sólidos formada en la superficie de las telas es de un grosor tal que impide la filtración del jugo al interior del cilindro. Esto se debe a que este tipo de filtros no está diseñado para un alto volumen de residuos, lo cual limita su capacidad de filtración. Otro factor adverso es la antigüedad de los equipos, lo cual reduce sustancialmente su capacidad de filtración, así como su eficiencia.

El desgaste producido por la operación daña las telas de filtración, lo que produce que el jugo filtrado se contamine con sólidos, afectando al sistema interno del filtro, por lo que, es necesario mantener una revisión y mantenimiento continuos durante la operación. Sin embargo, realizar un mantenimiento correctivo durante la operación significa desechar un gran volumen de residuos sin filtrar, lo que representa una pérdida continua de azúcar. Lo cual reduce el rendimiento de azúcar producida por tonelada de caña cultivada.

La recuperación de azúcar realizada mediante filtros rotatorios no es la ideal, su mantenimiento es complejo y las consecuencias son importantes, ya que existe una pérdida sustancial de azúcar en los residuos. Estas pérdidas representan un aumento de los costos de producción, así como una disminución del rendimiento de azúcar obtenido por unidad de caña cultivada. Estos factores producen un incremento en el precio de azúcar en el mercado, reduciendo la competitividad de la empresa. Por lo tanto, es imperativo la mejora del proceso de filtración mediante equipos con diseños y sistemas de operación más eficientes para la recuperación de azúcar.

3.2. Formulación del problema

La recuperación de azúcar presente en los residuos de caña mediante equipos filtros rotatorios es ineficiente debido a su antigüedad y poca capacidad de procesamiento, además de la dificultad que involucra su mantenimiento durante la operación. De esta manera, es necesario evaluar la inversión en el diseño de una nueva área de equipos de filtración.

3.2.1. Pregunta central

¿Qué propuesta es necesaria para el diseño de un área de filtración de residuos de caña utilizando filtros banda en un ingenio azucarero?

3.2.2. Preguntas de investigación

- ¿Cómo se realiza el proceso de filtración de residuos de caña con los equipos en ejecución?
- ¿Cuáles son los parámetros críticos del proceso de filtración de residuos de caña?
- ¿Cómo se evaluará la rentabilidad financiera de la inversión en el diseño de un área de filtración de residuos de caña?

3.3. Delimitación del estudio

El presente trabajo de investigación será realizado en un ingenio azucarero guatemalteco ubicado en el municipio de La Democracia, departamento de Escuintla, entre los meses de abril y diciembre de 2023.

3.3.1. Límite temporal

El estudio de investigación será realizado desde el mes de abril de 2023 hasta diciembre de 2023.

3.3.2. Límite geográfico

El estudio se desarrollará en el municipio de La Democracia, departamento de Escuintla, en un ingenio azucarero.

3.3.3. Límite espacial

La investigación será realizada en el departamento de fabricación de azúcar del ingenio azucarero guatemalteco.

3.4. Viabilidad de la investigación

Una vez se haya diagnosticado el problema en el proceso de filtración de residuos de caña, se realizará la propuesta del diseño de una nueva área de filtración de residuos de caña, para lo cual se requieren los siguientes recursos para llevar a cabo la investigación: datos de los registros, procedimientos y análisis que se realizan en el área de filtración. La obtención de estos recursos se realizará previa autorización del ingenio, por lo que, se determina que la investigación es viable.

3.5. Consecuencias de realizar la investigación

La presente investigación busca diagnosticar las principales causas que repercuten en el proceso de recuperación de azúcar presente en los residuos de

caña y proponer una solución mediante el diseño de un área de filtración moderna utilizando filtros banda. A su vez, se desea utilizar una herramienta de evaluación financiera para determinar la viabilidad del diseño.

3.5.1. De realizarse

La ejecución del presente trabajo de investigación permitirá mejorar la eficiencia del proceso de filtración de los residuos de caña, mediante el diseño de un área de filtración con equipos y maquinaria óptimos para realizar el proceso.

Los resultados que se obtendrán de la investigación son los siguientes: incremento del rendimiento de azúcar comercial producida por unidad de caña cultivada, reducción de costos de mantenimiento de los equipos de filtración, incremento en el volumen de residuos que se pueden filtrar por equipo, disminución en las pérdidas de azúcar al desechar los residuos de caña.

3.5.2. De no realizarse

En el caso de no realizarse este trabajo de investigación se ocasionarán los siguientes inconvenientes: aumento de costos de mantenimiento de los equipos de filtración, aumento en las pérdidas de azúcar al desechar los residuos de caña, disminución de la cantidad de azúcar producida por unidad de caña cultivada, aumento del precio del azúcar para el consumidor final, reducción de la competitividad de la empresa en el mercado de azúcar debido al incremento de costos operativos.

4. JUSTIFICACIÓN

El estudio se encuentra dentro de la línea de investigación de Planeación de Proyectos en el área de Gerencia Estratégica de la Maestría en Gestión Industrial de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ya que se enfoca en establecer una propuesta para el diseño de un área de filtración de residuos de caña de un ingenio azucarero utilizando filtros banda.

La necesidad de realizar esta investigación es reducir la ineficiencia en la filtración de residuos de caña, provocada por la utilización de filtros rotatorios, los cuales son equipos con diseños antiguos y con muchas limitaciones operativas. Esto repercute en un menor rendimiento producción de azúcar como producto final.

La importancia de diseñar una nueva área de filtración de residuos de caña es controlar y mantener la eficiencia y eficacia en la recuperación de azúcar; utilizar equipos de filtración que minimicen las pérdidas de azúcar en los desechos filtrados; mantener los costos productivos; y evitar la reducción de la rentabilidad económica de la fabricación de azúcar.

La motivación de esta investigación es realizar el diseño de un área de filtración que permita un alto rendimiento en la recuperación de azúcar, utilizando equipos con mayor eficiencia y capacidad de operación. De esta manera, se incrementarán los beneficios económicos que se obtienen por cada unidad de caña cultivada.

Dentro de los beneficios que ofrece la investigación se encuentra la metodología de evaluación financiera del proyecto para diseñar un área de filtración de residuos de caña, lo cual permitirá determinar la rentabilidad de la inversión. También, se ofrece información técnica de los filtros banda como una alternativa más moderna y eficiente a los filtros rotatorios.

Los beneficiarios de esta investigación son los ingenios azucareros tanto guatemaltecos como extranjeros, que estén interesados en la modernización y mejora de sus procesos de filtración de residuos de caña, mediante el diseño de áreas de filtración con equipos más eficientes y con mayor capacidad operativa. Las partes interesadas contarán a su vez con información de la rentabilidad económica de realizar este tipo inversión.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Realizar una propuesta para el diseño de un área de filtración de residuos de caña de azúcar, utilizando filtros banda, en un ingenio azucarero.

5.2. Específicos

- Realizar el diagnóstico del proceso de filtración de residuos de caña con los equipos en ejecución.
- Determinar los parámetros críticos del proceso de filtración de residuos de caña.
- Diseñar la metodología de evaluación financiera para la propuesta de inversión en el diseño de un área de filtración de residuos de caña utilizando filtros banda.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

El presente trabajo de investigación analizará el diseño de un área de filtración de residuos de caña, utilizando filtros banda, en un ingenio azucarero y cómo este afectará el rendimiento de recuperación de azúcar. A partir de los resultados de la investigación se podrá determinar que el diseño del área de filtración es económicamente factible, mediante herramientas de evaluación financiera.

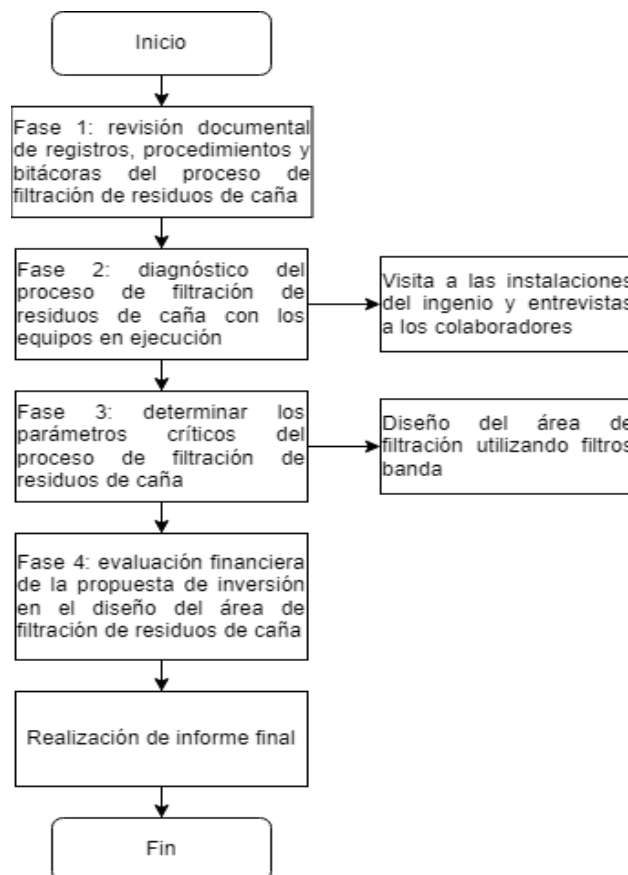
El diseño de un área de filtración, utilizando filtros banda, es necesario debido a la amplia utilización de filtros rotatorios al vacío, los cuales poseen una antigüedad considerable. Estos equipos han perdido eficacia en la filtración, debido al uso permanente a lo largo del tiempo y no cuentan con diseños eficientes. La presente investigación busca recomendar la utilización de filtros banda para los procesos de filtración con el fin de incrementar el rendimiento de recuperación de azúcar.

La información que será recopilada en la presente investigación, como se muestra en el esquema de solución en la figura 1, inicia con la revisión documental y bibliográfica del proceso de filtración de residuos de caña; posteriormente se realizará una visita a las instalaciones del ingenio azucarero, con el fin de observar el proceso y realizar entrevistas a los colaboradores y así obtener un diagnóstico del proceso de filtración.

La información recopilada será analizada para determinar los parámetros críticos del proceso de filtración, la cual permitirá el diseño y dimensionamiento de la nueva área de filtración; por último, la rentabilidad económica de diseñar un área de filtración de residuos utilizando filtros banda, será determinada mediante el análisis técnico del proceso y la evaluación financiera de llevar a cabo la inversión en tal proyecto.

Figura 1.

Esquema de solución



Nota. Esquema de solución del problema. Elaboración propia, realizado con Diagrams.net.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Antecedentes agroindustria azucarera

La agroindustria azucarera es uno de los sectores de mayor relevancia en la economía guatemalteca, debido a la generación de riqueza y empleos que provee al país. La producción azucarera combina los procesos agrícolas e industriales para el aprovechamiento de los bienes y servicios obtenidos de la caña, siendo el azúcar el producto principal. (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar [CENGICAÑA], 2012)

7.1.1. Historia

La caña de azúcar remonta su incursión en el territorio guatemalteco durante el año de 1536, siendo el lugar de mayor reconocimiento en Amatitlán. En el transcurso del siglo XVI, se construyeron los primeros trapiches en Guatemala, permitiendo la producción de panela y agua ardiente. La popularidad de estos alimentos y bebidas siguió creciendo a lo largo del siglo XVII. A partir de mediados del siglo XIX Guatemala inicio la comercialización de azúcar hacia el extranjero. (Wagner, 2007)

En el año de 1960 ocurrieron cambios significativos en la forma de fabricar azúcar en el territorio guatemalteco. La era industrial había propiciado el desarrollo y el cambio de la dinámica mundial, lo que llevó a los ingenios azucareros a definir una estrategia de crecimiento y modernización. El desarrollo de nuevas tecnologías propicio un aumento la capacidad operativa. (CENGICAÑA, 2012)

7.1.3. Actividad económica

Los ingenios azucareros son empresas agroindustriales dedicadas a la obtención productos de valor obtenidos del procesamiento de la caña de azúcar, destinados a la comercialización local e internacional. La actividad económica más relevante es la manufactura de azúcar en sus distintas presentaciones. Los subproductos obtenidos se utilizan principalmente para la producción de electricidad mediante cogeneración y a la manufactura de alcohol. (CENGICAÑA, 2012)

7.1.3.1. Productos

Los productos principales comercializados por los ingenios azucareros son: azúcar crudo, la calidad más baja; azúcar estándar, comercializada localmente; azúcar refinada, comercializada local e internacionalmente; azúcar refinada especial, encargos especiales de clientes; melaza, utilizada para la manufactura de alcohol y también puede ser vendida a otras destilerías; y alcohol etílico, comercializado en el mercado local e internacional. (CENGICAÑA, 2012)

7.1.3.2. Subproductos

Los subproductos obtenidos en la manufactura de azúcar son: cachaza, empleada como abono en los campos de cultivo; y bagazo, empleado como material combustible en la producción eléctrica. Los subproductos obtenidos de la manufactura de alcohol son: dióxido de carbono, comercializado en el mercado local; y vinaza, utilizada para la producción de biogás y fertilizantes. (CENGICAÑA, 2012)

7.1.3.3. Servicios

El bagazo de caña, obtenido al moler la caña, y el biogás, producido de la descomposición bacteriana de la vinaza, son utilizados como fuentes combustibles para la producción de electricidad. La energía eléctrica es utilizada por el ingenio internamente para los procesos industriales y el remanente es comercializado al mercado local. (CENGICAÑA, 2012)

7.1.4. Áreas de trabajo

Las organizaciones poseen áreas de trabajo organizadas y lideradas por la alta gerencia. El objetivo de las áreas de trabajo dentro de la organización es llevar a cabo las actividades a nivel técnico, financiero, comercial, contable y administrativo. Las áreas de la organización se dividen en básicas y de apoyo. Las áreas básicas comprenden las actividades técnicas, como producción y fabricación, y las actividades comerciales, como compras y ventas. Las áreas de apoyo colaboran con las básicas para que estas concentren sus esfuerzos en el cumplimiento de sus actividades, asegurando el suministro de los recursos que necesiten para desarrollar la operación primordial de la organización. (Alfonso, Molinari, y Scaramellini, 2018)

Las áreas básicas de un ingenio azucarero la conforman el área agrícola y el área industrial. El área agrícola está encargada de la siembra y desarrollo de la caña y es responsable del transporte de esta en el periodo de zafra. El área industrial produce azúcar y aprovecha los subproductos resultantes de este proceso. Las áreas de apoyo están compuestas por el área financiera, informática, recursos humanos y administrativa. (CENGICAÑA, 2012)

7.2. Fabricación de azúcar

La producción de azúcar involucra la manipulación de la caña mediante medios mecánicos y fisicoquímicos, con el fin de lograr la separación y refinación de los granos de azúcar como producto final. Durante todo el proceso se obtienen una serie subproductos los cuales son aprovechados para otros procesos industriales. (Rein, 2012)

7.2.1. Aspectos generales

Rein (2012) define a la caña de azúcar como una combinación de jugo y fibra. El jugo consiste en una solución de sacarosa en combinación con sustancias orgánicas e inorgánicas. La fibra comprende todo aquel material insoluble presente en la caña, incluyendo la suciedad, tierra y la fibra del tallo. En general la caña está constituida por agua, sólidos disueltos y fibra.

Los sólidos disueltos se miden mediante un refractómetro y se expresan comúnmente como °Brix. Dentro de los sólidos disueltos se encuentra la sacarosa o azúcar, la cual se mide utilizando un polarímetro y, por ello la medición de esta se expresa como polarización o pol. Para determinar qué cantidad de sacarosa representan los sólidos solubles se utiliza la pureza, la cual se expresa como el porcentaje de la proporción entre pol y °Brix. (Rein, 2012)

7.2.2. Molienda

La caña es cosechada de los campos mediante cosecha manual o mecanizada. Luego es transportada hasta los ingenios donde es recibida y preparada para su molienda. La caña se alimenta a los tándems de molinos

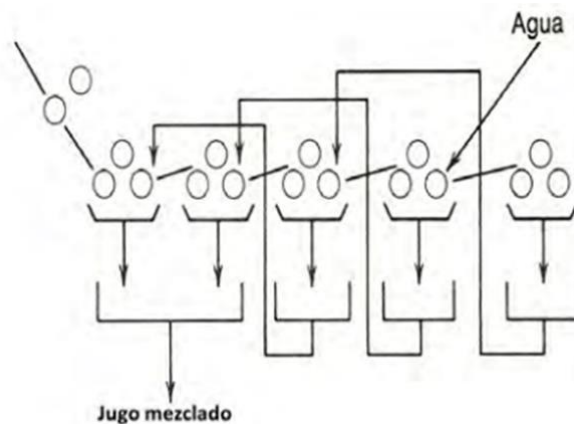
donde el jugo es extraído mediante la acción mecánica de compresión y la acción del agua de imbibición compuesta. (Cheng, 1991)

La imbibición compuesta consiste en agregar agua caliente a una temperatura entre 70-75 °C al bagazo de caña que se introduce al último molino. El bagazo está compuesto por el material más robusto de la caña al extraer el jugo. Este bagazo luego se reintroduce al molino en la parte posterior de forma continua hasta alcanzar al molino secundario, este proceso está ilustrado en la figura 3. La caña que se introduce en el primer molino no requiere de agua de imbibición debido a su alto volumen de recuperación. (Cheng, 1991)

El jugo obtenido al inicio de la molienda es mezclado con el jugo obtenido en el resto de los molinos para formar el jugo mezclado. El bagazo obtenido al salir del último molido debe poseer la mínima cantidad de azúcar (menor a 2 % pol) para reducir las pérdidas en los desechos. El jugo extraído es posteriormente enviado al proceso de clarificación. (CENGICAÑA, 2012)

Figura 3.

Diagrama de imbibición compuesta



Nota. Diagrama de imbibición compuesta. Adaptado de CENGICAÑA (2012). *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala.* ([20170103101309141.pdf \(cengicana.org\)](https://www.cengicana.org/publicaciones/20170103101309141.pdf)), consultado el 14 de marzo de 2023. De dominio público.

7.2.3. Clarificación

El proceso de clarificación del jugo se realiza para la remoción de impurezas que posee el jugo mezclado, como tierra, arena, bagazo y otros tipos de basura vegetal o mineral. El jugo clarificado que se obtiene posee las características idóneas para los estándares de calidad que se requieren alcanzar. El objetivo principal de la clarificación es la remoción de las impurezas mediante la formación de sólidos sedimentables, los cuales por su peso se depositan en el fondo. Los sólidos sedimentables se forman por la reacción del catión calcio, provistos por la dosificación de cal, y el anión fosfato, presente en la materia orgánica de la caña y en la dosificación de ácido fosfórico. (Rein, 2012)

Los sólidos en suspensión que posee el jugo se asocian con las especies fosfatadas de calcio y con proteínas desnaturalizadas, formando flóculos. Estos flóculos forman aglomeraciones más grandes y compactas denominadas coágulos. Se adiciona un agente floculante el cual se asocia con los flóculos y coágulos a la vez, lo cual en conjunto produce un lodo denso, denominado comúnmente como cachaza. (CENGICAÑA, 2012)

El jugo clarificado es decantado por gravedad y recolectado en un tanque de jugo claro, donde posteriormente es enviado a la evaporación. Los lodos sedimentados en los clarificadores, conocidos como cachaza, son extraídos mediante bombas y recolectados para posteriormente ser filtrados. (CENGICAÑA, 2012)

7.2.4. Filtración

El proceso de filtración consiste en el manejo de la cachaza, de forma que se produzca el agotamiento de su contenido de sacarosa y su posterior

reprocesamiento. La cachaza agotada en sacarosa es preparada para su disposición final como desechos o subproductos para las actividades de cultivo de caña. (Rainey, Thaval y Rackemann, 2014)

Los objetivos del proceso de filtración son: recuperar la sacarosa y reprocesarla como parte del jugo filtrado; y maximizar la retención de la cachaza para minimizar la cantidad de residuos sólidos que regresan al proceso junto con el jugo filtrado. Estos objetivos pueden ser alcanzados mediante el lavado eficiente de los lodos con agua. (Rainey et al., 2014)

7.2.4.1. Funcionamiento

La cachaza es acondicionada y posteriormente introducida en los equipos de filtración formando una torta, la cual consiste en una serie de capas de lodo. El jugo que posee la torta es succionado al comienzo del proceso. La torta es posteriormente lavada con agua para arrastrar los remanentes de sacarosa. El jugo y el agua de lavado son recolectados en tanques y posteriormente son enviados al proceso de clarificación para ser reprocesado. La combinación de jugo y agua de lavado se llama jugo filtrado. La cachaza obtenida al final del proceso se encuentra agotada de sacarosa, por lo que, es enviada a una tolva para su descarga en camiones, los cuales se encargan de disponer los residuos finales como fertilizante durante el cultivo de caña. (Rainey et al., 2014)

El acondicionamiento de la cachaza produce una mejora significativa en las propiedades de filtración de la torta, como su permeabilidad, consistencia y porosidad. El acondicionamiento es realizado mediante la adición de bagacillo, cal y floculante en un mezclador. El bagacillo es el componente más influyente en la consistencia de la torta, ya que mejora la retención de los lodos sólidos y

aumenta la porosidad. El bagacillo está compuesto por las fibras más finas del bagazo que se obtuvo del proceso de molienda. (Rainey et al., 2014)

El agua de lavado y el jugo son extraídos de la superficie de los filtros mediante la creación de vacío. El vacío se produce a partir de bombas, las cuales purgan el aire presente en las tuberías, lo cual crea un efecto de baja presión que propicia el movimiento del fluido. La formación de la torta en los filtros se produce por la acción de bajo vacío y a su vez se inicia la extracción del jugo. La extracción del agua de lavado requiere de un alto vacío, ya que la torta produce una resistencia al movimiento de esta. (Rainey et al., 2014)

La torta de cachaza que se obtiene al final de la filtración contiene una cantidad sustancial de sacarosa, lo cual representa una pérdida para el ingenio. El principal método para reducir la cantidad de sacarosa pérdida es mediante la aplicación de suficiente agua de lavado a la torta. El agua atraviesa la torta por medio de los poros y cavidades internas, disolviendo la sacarosa retenida. El agua debe tener una temperatura mayor a 80 °C para favorecer la disolución de la sacarosa. El efecto del agua depende de la porosidad, consistencia y permeabilidad que posea la torta. (Rainey et al., 2014)

7.2.4.2. Equipos

El proceso de filtración se puede realizar mediante distintos diseños mecánicos y operativos, los cuales han sido desarrollados con tecnologías que permiten una mayor eficacia en la filtración de jugo, manteniendo un nivel aceptable de recuperación de sacarosa. Los equipos de filtración más comunes son los filtros rotatorios al vacío, ya que fueron uno de los primeros diseños utilizados en la industria azucarera. Entre las tecnologías de filtración de mayor auge en la industria azucarera se encuentran los filtros banda al vacío, los cuales

tienen la capacidad de mejorar la recuperación de azúcar mediante el lavado eficiente con agua. (Rainey et al., 2014)

7.2.4.2.1. Filtros rotatorios

Los filtros rotatorios consisten en un tambor cilíndrico que posee mallas filtrantes en su superficie, los cuales giran de forma continua sobre su propio eje. En la figura 4 se muestra un bosquejo general de las partes del filtro rotatorio. Los lodos son alimentados a un depósito que se encuentra por debajo del tambor, conocido como canoa. Cuando los lodos esparcidos en la canoa entran en contacto con la superficie del tambor, estos se adhieren y forman una torta. La adhesión se produce por efecto del bajo vacío, propiciando a su vez la extracción del jugo que poseen los lodos. (CENGICAÑA, 2012)

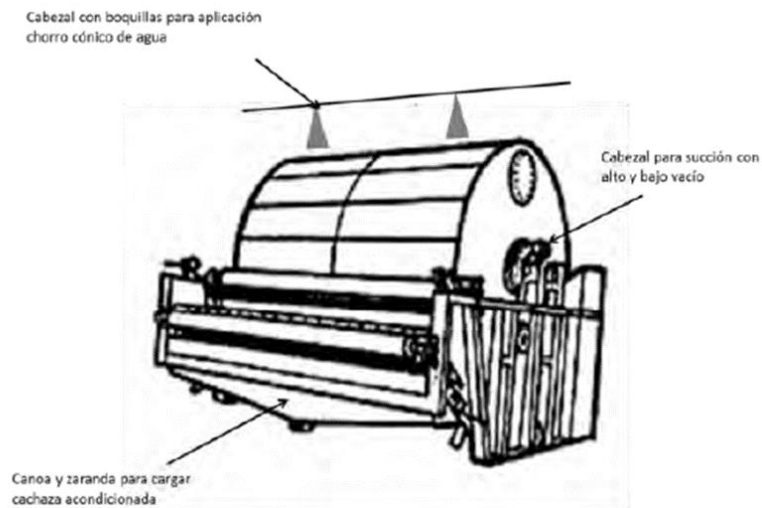
La capa de lodos adherida al tambor es rociada con agua caliente mediante boquillas de aspersion en la parte superior del filtro. El jugo filtrado es succionado por los orificios de las mallas filtrantes y recolectado en tanques de almacenamiento. La torta es removida de la superficie del tambor mediante raspadores. La torta cae a un conductor de banda para su disposición final. (CENGICAÑA, 2012)

7.2.4.2.2. Filtros banda

Los filtros banda están compuestos de dos bandas sin fin, una se encuentra adentro de la otra, como se muestra en la figura 5. La banda interior se enfoca en el movimiento y transporte. La banda exterior está compuesta de un material filtrante y descansa sobre la banda interior de forma horizontal. El filtro cuenta con cuatro secciones distintas: alimentación, drenado por gravedad, drenado por vacío y prensado de torta. (Kruger, 1984; Rainey et al., 2014)

Figura 4.

Filtro rotatorio al vacío



Nota. Diseño de un filtro rotatorio al vacío. Adaptado de CENGICAÑA (2012). *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala.* ([20170103101309141.pdf \(cengicana.org\)](https://www.cengicana.org/20170103101309141.pdf), consultado el 15 de marzo de 2023. De dominio público.

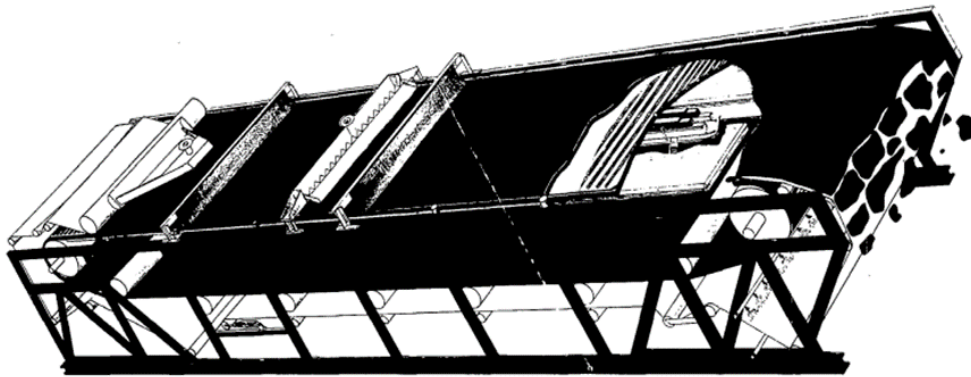
La alimentación de los lodos se realiza en la primera sección, donde son distribuidos para que abarquen el ancho completo de la banda exterior. La siguiente sección drena el jugo de la torta fresca mediante gravedad. Esta sección recupera cerca de 70 % del jugo filtrado total. El agua de lavado es aplicada a la torta durante el drenado por gravedad y al inicio del drenado por vacío.

Un bajo vacío es aplicado posteriormente para succionar el jugo filtrado de la torta. La sección de drenado por vacío recupera cerca de 15 %-25 %. En la última sección la torta es prensada entre las dos bandas mientras atraviesa una serie de rodillos, recuperando lo último del jugo filtrado. La torta final posee un porcentaje de azúcar de 1.25-1.5 % pol. (Rainey et al., 2014)

Los filtros banda pueden procesar un volumen mayor de residuos sólidos por sección de filtración comparado con los filtros rotatorios, siendo este de hasta tres veces mayor. La capacidad de un filtro banda es de 1.2-1.5 tn/h de residuos sólidos. Los equipos auxiliares y accesorios de operación entre los filtros banda y los rotatorios son bastante similares. (Rainey et. al, 2014)

Figura 5.

Filtro banda al vacío



Nota. Diseño de un filtro banda al vacío. Adaptado de G. Kruger (1984). The application of a horizontal vacuum belt filter to smuts dewatering and cane mud filtration. *Proceedings of The South African Sugar Technologists Association.* 1(1). p. 34. (<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=2d7a5d0f13558bdea5650d592425a530675a9dd9>)

7.2.4.3. Parámetros del proceso

Los lodos poseen gomas y ceras, las cuales se solidifican a temperaturas inferiores a 75 °C, lo cual reduce la permeabilidad de la torta que se forma en los filtros. La temperatura de alimentación y del agua de lavado de los lodos a los equipos de filtración debe ser mayor a 75 °C para evitar la reducción de la eficacia de filtración y con ello mejorar la recuperación de jugo. (Rein, 2010)

La concentración de azúcar en la entrada y salida de los residuos sólidos es el parámetro más crítico durante la filtración, debido a que determinará el rendimiento y la eficacia del proceso. Los lodos extraídos de los clarificadores poseen una gran cantidad de jugo, el cual tiene un porcentaje de sacarosa de 10-15 % pol. El contenido de sacarosa presente en los lodos filtrados debe ser menor a 2 % pol, ya que estos serán desechados posteriormente o serán utilizados como abono en el cultivo de caña. (Rainey et. al, 2014; Rein, 2010)

7.2.4.4. Rendimiento

El rendimiento de filtración es obtenido con base en el porcentaje de sacarosa recuperada y del porcentaje de sacarosa pérdida. Petit (2014) realizó una comparación entre el rendimiento de los filtros banda y los filtros rotatorios, en la cual destaca las ventajas superiores que poseen los filtros banda: mayor eficiencia de filtración, poca sacarosa en la cachaza, menor cantidad de residuos sólidos contenidos en el jugo y un menor consumo de energía eléctrica.

7.2.5. Evaporación

La evaporación es un proceso térmico, con el cual es posible la eliminación del agua presente en el jugo mediante calentamiento hasta alcanzar la ebullición. El jugo entra a los equipos de evaporación, llamados evaporadores, a una concentración de 15-18 °Brix y se concentra hasta 65-67 °Brix. La sustancia formada al final de la evaporación se denomina meladura. Los evaporadores trabajan a presiones por debajo de la presión ambiental, lo cual se conoce como vacío, con lo cual se reduce la temperatura de ebullición y se favorece la evaporación del agua. Para el calentamiento del equipo se utiliza vapor de agua, el cual es introducido a un haz de tubos internos conocidos como calandria. (Rein, 2012)

7.2.6. Clarificación de meladura

Durante la concentración del jugo todas las impurezas remanentes se aglomeran y pueden afectar la calidad del azúcar. Para eliminar estas impurezas se realiza la clarificación de la meladura. Se realiza un tratamiento fisicoquímico de la meladura, mediante la dosificación de ácido fosfórico, floculante y cal, para producir la aglomeración de las impurezas y así facilitar su separación. Se inyectan burbujas de aire en el fondo del clarificador, las cuales al ascender arrastran las aglomeraciones de impurezas, formando una espuma en la superficie del clarificador. Esta espuma es removida y reprocesada para recuperar el jugo que posee. (CENGICAÑA, 2012)

7.2.7. Cristalización

La cristalización es un proceso de separación sólido-líquido mediante la eliminación de agua por calentamiento. La meladura clarificada es introducida en los equipos de cristalización, donde se concentra hasta alcanzar el punto de sobresaturación, correspondiente a 80-81 °Brix, mediante la reducción de la presión interna para reducir el punto de ebullición de la solución. Esto significa que la solución alcanza el límite máximo que puede contener. La sacarosa que no puede mantenerse en solución precipita como cristal y empieza su crecimiento mediante la aglomeración de más partículas. (CENGICAÑA, 2012)

El agotamiento de la sacarosa en la solución se termina al alcanzar la pureza deseada. El material obtenido al final de la cristalización se conoce como masa cocida. La masa cocida está compuesta de cristales de sacarosa y jarabe

agotada. El jarabe consiste en una solución de sacarosa concentrada, pero no lo suficiente para formar cristales. (CENGICAÑA, 2012)

7.2.8. Centrifugación

La centrifugación utiliza la fuerza centrípeta como principio de funcionamiento para la recuperación de sólidos suspendidos o mezclados en líquidos. Los equipos de centrifugación separan el azúcar en forma sólida del jarabe. Estos equipos consisten en una canasta cilíndrica cuyas superficies son filtrantes, ya que poseen orificios de menor tamaño a los granos de azúcar.

Los equipos de centrifugación expulsan el jarabe por los orificios, mientras que los granos de azúcar quedan retenidos por encima de la superficie. Los cristales son descargados del equipo y transportados para su posterior acondicionamiento. La miel es recolectada en un tanque y reprocesada en los equipos de cristalización. (Rein, 2012)

7.2.9. Acondicionamiento y envasado

El azúcar una vez obtenida debe de almacenarse para su posterior comercialización. Sin embargo, el azúcar obtenida de la centrifugación posee una alta humedad, lo cual puede afectar su conservación debido al crecimiento de patógenos y la aglomeración de los cristales. Por lo tanto, es necesario el acondicionamiento del azúcar para que preserve sus características de calidad al momento de ser envasado y transportado al consumidor final. (CENGICAÑA, 2012)

El azúcar es sometida a un proceso de secado para reducir su humedad hasta un valor menor a 0.05. Para ello, es introducida en un secador rotatorio

donde circula aire caliente a contracorriente, el cual arrastra el agua presente en los cristales. Al finalizar el secado el azúcar es introducida en una enfriadora con aire a temperatura ambiente que circula a contracorriente. El azúcar sale de la enfriadora a una temperatura de 43-46 °C. El aire a su vez elimina los cristales más finos que pueden afectar la homogeneidad del tamaño del azúcar. (CENGICAÑA, 2012)

Al finalizar el acondicionamiento del azúcar esta es almacenada en bodegas para su posterior envasado. Durante el almacenamiento del azúcar se debe controlar la temperatura y la humedad relativa del ambiente, para evitar la degradación de sus características de calidad. El azúcar es envasada a granel y en sacos con diferentes presentaciones de peso, según los requerimientos del cliente. (CENGICAÑA, 2012)

7.3. Planeación de proyectos

El desarrollo de un proyecto de inversión debe ser evaluado para determinar la rentabilidad económica de este, de manera que pueda resolverse el problema a resolver de forma eficiente y rentable. De esta manera, se asegura que los recursos económicos sean utilizados en la mejor alternativa de inversión. Las actividades realizadas para justificar la inversión en un proyecto se conocen como evaluación de proyectos. (Baca, 2010)

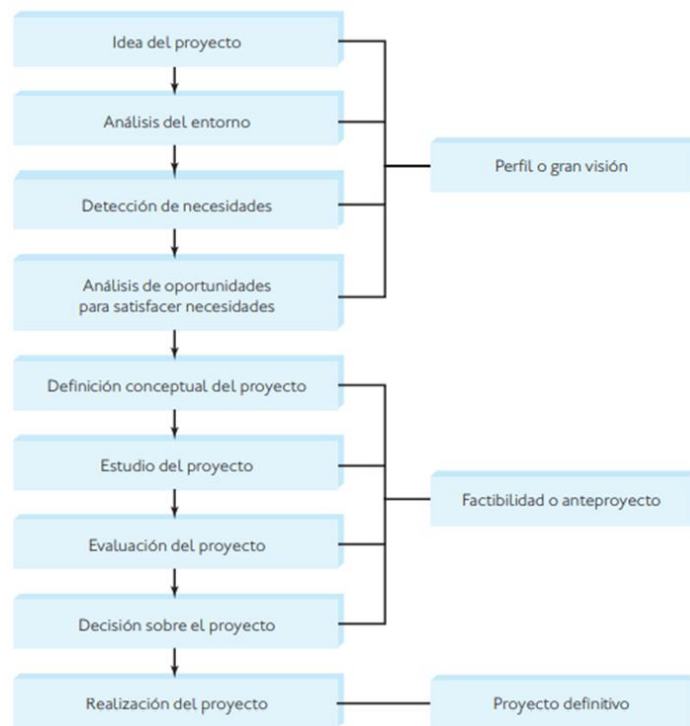
El desarrollo de un proyecto y su respectiva evaluación se realiza en tres niveles, como se muestran en la figura 6. El primer nivel es el perfil, en el cual se identifica la idea mediante la información disponible y la experiencia que se posee, realizando cálculos generales de la inversión, costos e ingresos. El siguiente nivel es el anteproyecto, el cual investiga el mercado, identifica la tecnología a utilizar, determina los costos y evalúa la rentabilidad financiera del

proyecto la cual servirá de base para que los inversionistas tomen una decisión. (Baca, 2010)

El último nivel es el proyecto definitivo, el cual profundiza en la información expuesta por el anteproyecto. La información presentada debe tener las cotizaciones reales de la inversión, diseños y planos de construcción, maquinaria y equipo según los requerimientos técnicos, entre otros. Finalmente, se lleva a cabo la instalación física del proyecto, la producción de los bienes o servicios planteados, la solución a un problema en general, el cual propicio la necesidad original del proyecto. (Baca, 2010)

Figura 6.

Proceso de planeación de proyectos



Nota. Diagrama de flujo del proceso de planeación de proyectos. Obtenido de G. Baca (2010). *Evaluación de proyectos.* (p. 6.) McGraw-Hill/Interamericana Editores.

7.3.1. Estudio técnico

El estudio técnico o de ingeniería comprende el diseño arquitectónico del proyecto, especificaciones de materiales, maquinaria y equipos a utilizar, entre otros. El diseño arquitectónico es realizado de acuerdo con las especificaciones de la infraestructura y del terreno. Los materiales por utilizar en la infraestructura deben ser acorde a la naturaleza física y química de las materias primas y de los productos. La cantidad de maquinaria y equipos a utilizar debe ser capaz de procesar el volumen de materia prima requerido por la empresa. (Nieble y Freivalds, 2009)

La distribución de la maquinaria en la planta puede ser en línea recta y por procesos. La distribución en línea recta reduce al mínimo la distancia entre la maquinaria, aprovechando todo el espacio disponible. Este tipo de distribución es ideal en producción de alto volumen, reduciendo los costos por manejo de material. La distribución por procesos agrupa la maquinaria del mismo tipo en un edificio en específico. (Nieble y Freivalds, 2009)

7.3.2. Estudio financiero

El estudio económico o financiero tiene como objetivo organizar la información financiera obtenida del proyecto, determinar la cantidad de recursos económicos que serán utilizados para su ejecución y elaborar los cuadros de análisis que constituyen la base para realizar la evaluación financiera. En principio es necesario determinar el costo total y la inversión en la cual se incurrirá, con base al estudio técnico de ingeniería, debido a que estos dependen de la tecnología elegida. (Baca, 2010)

El estudio posteriormente determina la depreciación de los activos fijos de la inversión inicial, así como su amortización. Como último punto del estudio se determina la tasa mínima atractiva de rendimiento y se elabora el flujo de caja neto proyectado. Los flujos de caja son realizados con base en el estado de resultados previsto para el periodo de tiempo seleccionado. (Baca, 2010)

7.3.2.1. Determinación de costos

La determinación de costos se realiza durante todas las etapas del proyecto, siendo de mayor relevancia durante el diseño preliminar y detallado, así como en la evaluación financiera. Los costos del proyecto pueden ser fijos y variables, los cuales se distribuyen en los costos de producción, administración y ventas. (Blank y Tarquin, 2012)

7.3.2.1.1. Costos de producción

Los costos de producción son determinados a partir de las especificaciones del estudio técnico. Entre los costos incurridos para la operación continua del proyecto se encuentran: materiales e insumos, mano laboral, electricidad, agua, mantenimiento, cargos de depreciación y amortización, entre otros. (Blank y Tarquin, 2012)

El costo que representa la mano laboral debe determinarse según las especificaciones técnicas, siendo estos divididos en directo e indirecto. Los directos están comprendidos por los obreros y personal involucrado de forma personal. La indirecta incluye al personal que es responsable del proceso, pero que no son obreros, siendo estos supervisores, jefes y gerente. El cálculo de la mano de obra debe considerar las prestaciones laborales de cada empleado involucrado. (Baca, 2010)

Los costos de energía eléctrica son comprendidos en su mayoría por la utilización de motores eléctricos en los equipos del proceso. Para determinar el consumo eléctrico de cada motor del proceso es necesario conocer su capacidad y el tiempo que se encuentran en funcionamiento al día. El consumo energético del alumbrado de las áreas y oficinas es poco significativo con respecto al consumo total. (Baca, 2010)

7.3.2.1.2. Costos administrativos

Los costos de administración representan los incurridos en la administración de la compañía, el cual incluye los sueldos del personal y los gastos en general que tienen las oficinas para su funcionamiento. Todos los gastos de las áreas de la compañía que no sean producción y ventas son considerados dentro del rubro de administrativos. Los cargos por depreciación y amortización son incluidos también. (Baca, 2010)

7.3.2.1.3. Costos de ventas

Los costos de ventas comprenden desde la distribución del producto final hasta las actividades de mercadotecnia, como lo es la publicidad y el estudio de mercado. Los sueldos del departamento de ventas comprenden desde su gerente hasta los vendedores y repartidores. Estos costos dependerán del tamaño de la empresa y de las actividades de promoción que se desean realizar. (Baca, 2010)

7.3.2.2. Inversión total inicial

La inversión inicial consiste en la adquisición del conjunto de activos tangibles e intangibles que serán utilizados para iniciar la operación del proyecto. Los activos tangibles son los bienes físicos fijos que posee la empresa, siendo

estos: terrenos, maquinaria, equipos, edificios, entre otros. Los activos intangibles son los bienes que necesita la empresa para su funcionamiento, como lo son: patentes, diseños industriales, nombres comerciales, asistencia técnica, gastos de puesta en marcha antes de iniciar operaciones, contratos de servicios, estudios de ingeniería, entre otros. (Baca, 2010)

Los gastos de servicios incluyen el agua, energía eléctrica, telefonía e internet, entre otros. Entre los costos del terreno se debe considerar la demolición de las estructuras existentes que no serán utilizadas o no son de interés para el proyecto. Los costos de maquinaria y equipo deben de incluir transporte, instalación y puesta en marcha. (Baca, 2010)

7.3.2.3. Depreciación de activos

La depreciación se aplica a los activos fijos, los cuales pierden valor por su tiempo de utilización. Los cargos de depreciación de una empresa en funcionamiento deben de realizarse con base en la ley tributaria. El objetivo de aplicar la depreciación de los bienes es recuperar la inversión que se realizó en estos mediante la vía fiscal. Para ello, la empresa debe realizar un cargo por costos de depreciación durante los años de operación. Esto produce un incremento durante los años de operación. Esto produce un incremento en los costos totales, pero en la realidad este costo solo se realizó al inicio, por lo que, los impuestos a pagar serán menores. De esta manera, la empresa recupera el dinero invertido. (Baca, 2010)

7.3.3. Flujo de caja

El flujo de caja utiliza elementos determinados de un estado de resultados pro-forma para obtener los flujos de efectivo o caja en el tiempo que será desarrollada la inversión. Los flujos de caja representan el beneficio real que la empresa obtiene durante su operación y se calculan a partir de la resta de los ingresos con los costos generales y los impuestos. La evaluación financiera del proyecto se realiza mediante los flujos de caja. “Se le llama pro-forma porque esto significa proyectado, lo que en realidad hace el evaluador: proyectar (normalmente a cinco años) los resultados económicos que supone tendrán la empresa.” (Baca, 2010, pág. 150)

El flujo de caja libre es el flujo distribuido entre los inversionistas, mientras el flujo relevante comprende los flujos adicionales que la empresa obtendría al ejecutar una propuesta de inversión. El flujo de caja incremental es un flujo relevante, ya que representa los cambios que existen en el flujo total de caja al momento de ejecutar un proyecto. Los proyectos de reemplazo son evaluados de forma incremental, ya que existe el reemplazo de un activo por otro. (Ehrhardt y Brigham, 2007)

La elaboración del flujo de caja debe incluir: inversión inicial, flujo de caja anual del proyecto y flujo de caja en el año terminal. La inversión inicial comprende todos los costos asociados a la adquisición de activos fijos y el cambio del capital de trabajo neto (CTN). El flujo de caja anual neto se calcula mediante la suma de la depreciación y la utilidad neta después de impuestos (UNDI) y la resta del cambio del capital de trabajo neto. El flujo de caja en el último año del proyecto es diferente por el valor de rescate de los activos fijos. (Ehrhardt y Brigham, 2007)

La diferencia entre los ingresos totales, los costos totales y la depreciación de los activos fijos resulta en la obtención de la utilidad antes de impuestos (UAI). El monto de los impuestos se calcula sobre el valor obtenido. La diferencia de los impuestos y la utilidad operativa antes de impuestos da como resultado la utilidad neta después de impuestos. (Ehrhardt y Brigham, 2007)

El cambio del capital de trabajo neto operativo proviene de la diferencia entre el aumento del activo circulante y el aumento del pasivo circulante. El inicio de operaciones del proyecto requiere de la adquisición de inventarios, como materias primas, por ello, existe un incremento en el pasivo circulante por concepto de inventarios y un incremento del pasivo circulante por concepto de cuentas por pagar. (Ehrhardt y Brigham, 2007)

7.3.4. Tasa mínima aceptable de rendimiento

El capital necesario para realizar la inversión inicial puede provenir de distintas fuentes, como inversionistas, otras empresas e instituciones bancarias. Previamente a la ejecución de la inversión es necesario determinar una tasa de ganancia mínima que se espera obtener de esta, la cual se llama tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR). (Blank y Tarquin, 2012)

La TMAR debe de considerar el índice inflacionario como referencia, siendo este el valor mínimo que puede adquirir. Sin embargo, al realizar una inversión se espera un crecimiento en el poder adquisitivo al transcurrir el tiempo o al finalizar la vida útil de la inversión. Por ello, la TMAR debe considerar un rendimiento que permita el crecimiento del dinero invertido y a la vez compensar el efecto inflacionario. (Baca, 2010)

Baca (2010) define la TMAR de la siguiente forma: $TMAR=i+f+i*f$. Donde i es el premio al riesgo y f la inflación. El índice inflacionario debe calcularse como el promedio de los próximos cinco años, utilizando fuentes de bancos nacionales o extranjeros. El premio al riesgo representa el crecimiento del dinero considerando el efecto de la inflación, su valor debe estar entre 10-15 %. (Baca, 2010)

7.3.5. Evaluación financiera

La evaluación financiera utiliza y describe las herramientas que toman en consideración el efecto del tiempo en el valor del efectivo, entre los cuales se encuentra el VPN y la TIR. Cuando se analiza solo una alternativa de inversión el VPN y la TIR son las herramientas más apropiadas para determinar la viabilidad de esta y así tomar una decisión fundamentada. La decisión de aprobar el proyecto de inversión recae principalmente en la interpretación de las herramientas de evaluación financiera, por ello, es de vital importancia aplicar los conceptos de forma clara y convincente. (Baca, 2010)

7.3.5.1. Valor presente neto

Blank y Tarquin (2012) definen el VPN como una herramienta que permite transformar los flujos de caja futuros del proyecto en valores equivalentes del presente, utilizando la TMAR como tasa de rendimiento o descuento definida. La tasa se encarga de eliminar el valor del efectivo en el futuro hasta alcanzar su valor presente equivalente. Los flujos representados en el tiempo presente se llaman flujos descontados. La aplicación del VPN permite cuantificar el beneficio económico que se obtendría en el presente al llevar a cabo la ejecución de un proyecto. Según Ehrhardt y Brigham (2007):

Se empezaron a buscar medios de mejorar la eficacia de la evaluación de proyectos. Uno de ellos es el método del valor presente neto (VPN), que se basa en técnicas del flujo de efectivo descontados (FED). Su aplicación consta de tres pasos:

- Determinar el valor presente de los flujos de efectivo: incluidos los ingresos y los egresos, descontados al costo de capital del proyecto.
- Sumar los flujos; el total será el VPN del proyecto.
- Si ese valor es positivo, se aceptará el proyecto y se rechazará en caso de ser negativo.

Cuando dos proyectos con un valor presente neto positivo se excluyen mutuamente, se elegirá el que ofrezca el valor presente neto más grande. (p. 315)

El cálculo del valor presente neto según Ehrhardt y Brigham (2007) se realiza a partir de la Ecuación 1. Donde FC_t representa el flujo de caja correspondiente al tiempo t , r es la tasa de descuento (TMAR) y n es el periodo de desarrollo del proyecto. El valor de FC_0 es el único negativo, ya que representa la salida de dinero correspondiente a la inversión inicial.

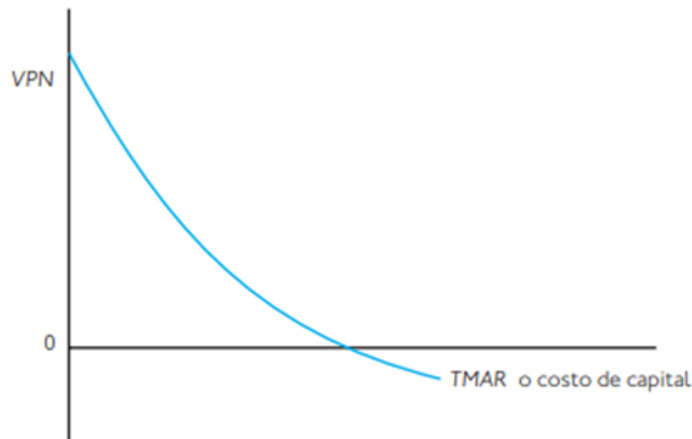
$$VPN = FC_0 + \frac{FC_1}{(1+r)^1} + \frac{FC_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{FC_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

El VPN con valor de cero significa que solo se recupera el capital invertido, pero no se incrementa la riqueza de la empresa durante el periodo de vida del proyecto. El VPN debe ser positivo para que el proyecto genere más ingresos de los necesarios para cubrir la deuda contraída y cumplir con el rendimiento esperado por los inversionistas. El exceso de ingresos aumentará la riqueza de la compañía, justificando la aprobación del proyecto. Si el VPN tiene un valor

negativo se debe rechazar el proyecto. El VPN depende de la TMAR de forma inversamente proporcional, como se muestra en la figura 7. El incremento de la TMAR representa una reducción en el VPN hasta alcanzar valores negativos, por ello, se debe elegir un valor adecuado de modo que no se rechacé el proyecto. (Ehrhardtr y Brigham, 2007)

Figura 7.

VPN vs TMAR.



Nota. Relación gráfica entre el VPN y la TMAR. Obtenido de G. Baca (2010). *Evaluación de proyectos.* (p. 183.) McGraw-Hill/Interamericana Editores.

7.3.5.2. Tasa interna de retorno

La TIR es la tasa de rendimiento o descuento que provee un VPN con valor de cero. Esta tasa representa el rendimiento que se espera obtener del proyecto y asume que el dinero obtenido en cada año del proyecto se reinvierte por completo. Un valor presente neto nulo significa que solamente está ganando el rendimiento mínimo establecido, el cual corresponde a la tasa de descuento

utilizada, en este caso la TMAR, y este criterio debería ser suficiente para aceptar el proyecto. (Ehrhardtr y Brigham, 2007)

La TIR es calculada según Ehrhardtr y Brigham (2007) mediante la Ecuación 2. Donde FC_t representa el flujo de caja correspondiente al tiempo t , r es la tasa de descuento (TMAR) y t es el periodo de desarrollo del proyecto. El valor de FC_0 es el único negativo, ya que representa la salida de dinero correspondiente a la inversión inicial.

$$FC_0 + \frac{FC_1}{(1+TIR)^1} + \frac{FC_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} = 0 \quad (2)$$

La TIR debe ser mayor a la TMAR para aceptar el proyecto, ya que el rendimiento debe superar el valor mínimo establecido para ser económicamente rentable. Si la TIR es menor a la TMAR el proyecto no es económicamente rentable, ya que aceptarlo representaría una pérdida para la empresa. (Blank y Tarquin, 2012)

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. Antecedentes agroindustria azucarera

1.1.1. Historia

1.1.2. Ubicación

1.1.3. Actividad económica

1.1.3.1. Productos

1.1.3.2. Subproductos

1.1.3.3. Servicios

1.1.4. Áreas de trabajo

1.2. Fabricación de azúcar

1.2.1. Aspectos generales

1.2.2. Molienda

1.2.3. Clarificación

1.2.4. Filtración

1.2.4.1. Funcionamiento

- 1.2.4.2. Equipos
 - 1.2.4.2.1. Filtros rotatorios
 - 1.2.4.2.2. Filtros banda
- 1.2.4.3. Parámetros del proceso
- 1.2.4.4. Rendimiento
- 1.2.5. Evaporación
- 1.2.6. Clarificación de meladura
- 1.2.7. Cristalización
- 1.2.8. Centrifugación
- 1.2.9. Acondicionamiento y envasado
- 1.3. Planeación de proyectos
 - 1.3.1. Estudio técnico
 - 1.3.2. Estudio financiero
 - 1.3.2.1. Determinación de costos
 - 1.3.2.1.1. Costos de producción
 - 1.3.2.1.2. Costos administrativos
 - 1.3.2.1.3. Costos de ventas
 - 1.3.3. Flujo de caja proyectado
 - 1.3.4. Tasa mínima aceptable de rendimiento
 - 1.3.5. Evaluación financiera
 - 1.3.5.1. Valor presente neto
 - 1.3.5.2. Tasa interna de retorno

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES
RECOMENDACIONES
REFERENCIAS
APÉNDICES
ANEXOS

9. METODOLOGÍA

La presente investigación tendrá un enfoque mixto, no experimental, de tipo transversal y con alcance descriptivo. Las variables por utilizar serán de carácter cualitativo y cuantitativo. El desarrollo de la investigación consistirá en cuatro fases, las cuales abarcarán la revisión documental de la información recopilada y su interpretación para responder los objetivos específicos planteados.

9.1. Enfoque

La investigación tendrá un enfoque mixto, ya que se emplearán métodos cualitativos y cuantitativos para recopilar la información. En la parte cualitativa se identificarán y analizarán los factores que afectan el entorno externo e interno del proceso de filtración, así como la causa de fallas técnicas en los equipos de filtración. En la parte cuantitativa se analizará el rendimiento de recuperación de azúcar, el dimensionamiento del área de filtración y la rentabilidad del proyecto de inversión.

9.2. Diseño

El diseño de la presente investigación será no experimental, ya que no se realizará la manipulación de ninguna variable. Se observará el entorno y las instalaciones del área de filtración con los equipos en ejecución para luego realizar un análisis de las características técnicas de los equipos y los parámetros críticos del proceso según los requerimientos del ingenio, con el fin de evaluar e interpretar el desempeño de estos.

9.3. Tipo

La investigación según su periodo y secuencia puede catalogarse de tipo transversal. Se utilizará este tipo de estudio, ya que, con los valores registrados en el momento del desarrollo de la investigación se analizarán los factores externos e internos del proceso de filtración, las fallas operativas, el rendimiento de recuperación de azúcar y las dimensiones del área de filtración.

9.4. Alcance

La investigación posee un alcance descriptivo, en la cual se desea detallar y comparar los parámetros y rendimientos de la utilización de filtros rotatorios y filtros banda en el proceso de filtración de residuos. A su vez, se busca determinar las características técnicas que son necesarias para diseñar un área de filtración capaz de alcanzar los requerimientos operativos establecidos por el ingenio. Por último, se evaluará la rentabilidad económica de llevar a cabo la construcción de una nueva área de filtración utilizando filtros banda.

9.5. Variables e indicadores

Las variables que se utilizarán en el presente trabajo de investigación son de carácter cualitativo y cuantitativo. Entre las variables cualitativas se encuentran el análisis del entorno interno y externo utilizando FODA y las fallas en el proceso de filtración. Y entre las variables cuantitativas se encuentran el rendimiento de recuperación de azúcar, el dimensionamiento del área de filtración y la rentabilidad del proyecto de inversión.

- **Análisis del entorno interno y externo utilizando FODA**

El análisis del entorno interno y externo se realiza mediante la identificación de los factores en el proceso que representan fortalezas, oportunidades, debilidades o amenazas.

- **Fallas en el proceso de filtración**

Las fallas que ocurren en el proceso de filtración pueden ocurrir por distintas causas, siendo estas a nivel operativo o mecánico. Para determinar la recurrencia e importancia de estas fallas es necesario utilizar los criterios de los entrevistados debido a su experiencia en el proceso.

- **Rendimiento de recuperación de azúcar**

El rendimiento de recuperación de azúcar representa el porcentaje de azúcar que fue removida de los residuos sin filtrar. El porcentaje de azúcar se expresa como pol.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\% \text{ pol residuos sin filtrar} - \% \text{ pol residuos filtrados}}{\% \text{ azúcar en residuos sin filtrar}} * 100 \%$$

- **Dimensionamiento del área de filtración**

Para el dimensionamiento del área de filtración se deben calcular la cantidad de filtros banda necesarios para filtrar el caudal total de residuos que son enviados al área por hora.

$$\#filtros\ banda = \frac{Caudal\ total\ a\ filtrar\ por\ hora}{Caudal\ de\ filtración\ por\ hora/filtro}$$

- **Rentabilidad de la inversión**

La rentabilidad de la inversión se determina mediante la aplicación de herramientas de evaluación financiera. Para la presente investigación se utilizará el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR). El proyecto es rentable si tiene un VPN > 0 y una TIR > TMAR. El proyecto no es rentable si tiene un VPN = 0 o VPN < 0 y una TIR < TMAR. Donde la TMAR es la tasa mínima de retorno.

9.6. Matriz de consistencia

La información recopilada en el desarrollo de la investigación debe ser analizada de acuerdo con las variables e indicadores cualitativos y cuantitativos a utilizar, de modo que los resultados obtenidos a partir de estos permitan resolver los objetivos específicos planteados. En la tabla I se muestra la operativización de las variables según su objetivo específico correspondiente.

Tabla 1.*Matriz de consistencia*

Objetivos específicos	Variable	Tipo de variable	Indicadores	Técnicas de recolección
Realizar el diagnóstico del proceso de filtración de residuos de caña con los equipos en ejecución.	Fallas en el proceso de filtración	Cualitativa	Criterios de los entrevistados	Entrevista
	Análisis del entorno interno y externo utilizando FODA	Cualitativa	Fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas	Observación Revisión documental Entrevista
Determinar los parámetros críticos del proceso de filtración de residuos de caña	Rendimiento de recuperación de azúcar	Cuantitativa	Porcentaje de pérdidas de azúcar en residuos filtrados	Observación Revisión documental
	Dimensionamiento del área de filtración	Cuantitativa	Cantidad de filtros banda a utilizar	Observación Revisión documental
Diseñar la metodología de evaluación financiera para la propuesta de inversión en el diseño de un área de filtración de residuos de caña.	Rentabilidad del proyecto de inversión	Cuantitativa	Valor presente	Observación
			Tasa interna de retorno	Revisión documental

Nota. Detalle de la matriz de consistencia. Elaboración propia, realizado con Word.

9.7. Fases de la investigación

La secuencia lógica de pasos o fases que se seguirá para la ejecución de la investigación debe ser establecida, de manera que sea provista con una visión científica. Las fases permitirán verificar las ideas planteadas mediante la evaluación de la evidencia recopilada. La investigación se desarrolla en cuatro fases, las cuales son descritas a continuación.

- **Fase 1: Revisión documental**

Esta fase comenzará con una investigación bibliográfica acerca de la fabricación de azúcar y del proceso de filtración de residuos de caña. Los documentos y procedimientos del funcionamiento del área de filtración serán revisados, al igual que los registros y bitácoras de los parámetros del proceso. Para obtener información empírica del proceso se realizarán entrevistas a los colaboradores del área de filtración acerca de su experiencia en el control de la operación de filtración, los equipos involucrados, problemas y fallas técnicas, frecuencia de mantenimientos correctivos, dificultad del proceso, entre otros.

- **Fase 2: Diagnóstico del proceso de filtración con los equipos en ejecución**

El recorrido dentro de las instalaciones del área de filtración de residuos de caña será realizado mientras se encuentra en operación. El funcionamiento de los equipos en ejecución será observado y se registrará la información de los parámetros de estos. El rendimiento de recuperación de azúcar de los equipos de filtración será calculado con la información recopilada. El diagnóstico del proceso de filtración de residuos de caña será realizado mediante el análisis del entorno externo, interno y operativo con la información recopilada.

- **Fase 3: Determinación de los parámetros críticos del proceso de filtración de residuos de caña**

Mediante la información recopilada en las fases anteriores se analizan los parámetros de mayor relevancia para el proceso de filtración, los cuales determinan la eficacia de este. La identificación de los parámetros críticos permitirá realizar el diseño y dimensionamiento de un área de filtración con la

capacidad para cumplir con los requerimientos operativos establecidos por el ingenio.

- **Fase 4: Evaluación financiera de la propuesta de inversión en el diseño de un área de filtración de residuos de caña utilizando filtros banda**

La propuesta para el diseño de una nueva área de filtración de residuos de caña debe ser revisada a nivel técnico y financiero, evaluando los beneficios operativos y económicos para la organización. Para ello, debe realizarse un flujo de caja proyectado con los costos y ganancias que obtendrá del proyecto, con el cual se determina la rentabilidad de la inversión mediante la aplicación de las herramientas de evaluación financiera, VPN y TIR.

9.8. Población y muestra

La población total es comprendida por los 25 colaboradores que integran el área de filtración, los cuales se dividen en operadores, supervisores, jefes y gerentes. Para la presente investigación se utilizarán a todos los colaboradores como parte de la muestra, para obtener resultados más representativos al recopilar la información.

Utilizando el análisis de muestreo estadístico con un nivel de confianza del 95 % y con un error del 5 % se calcula el tamaño de la muestra:

$$n = \frac{N\sigma^2Z^2}{(N - 1)e^2 + \sigma^2Z^2}$$

Donde:

- n = tamaño de la muestra.

- N = tamaño de la población.
- σ = desviación estándar de la población (0.5 por convención).
- Z = tipificación del nivel de confianza de la distribución normal, para este caso 1.96.
- e = error de estimación máximo esperado.

$$n = \frac{25 * 0.5^2 * 1.96^2}{(25 - 1)0.05^2 + 0.5^2 * 1.96^2} = 23.5 \cong 24$$

A partir de los datos establecidos se obtiene un tamaño de muestra de 24 colaboradores, que deberán ser analizados para la recopilación de datos para la presente investigación. Sin embargo, se utilizará una muestra igual a la población total, siendo esta de 25 colaboradores. Cada colaborador será sometido a dos entrevistas de preguntas abiertas, una acerca del proceso de filtración utilizando filtros rotatorios y otra acerca del proceso de filtración utilizando filtros banda. La muestra total que se espera obtener es de 50.

9.9. Técnicas y metodología

Las técnicas de recolección de datos a utilizar serán la observación y la entrevista. La recopilación de la información y el análisis del proceso de filtración requiere de la percepción visual u observación, lo cual permitirá comparar la documentación y la bibliografía con la realidad. Las entrevistas permitirán obtener información más específica del proceso de filtración que solo la experiencia de los entrevistados puede proveer.

- **Observación**

Al finalizar la revisión documental de los procedimientos e instructivos para la operación del área de filtración se realizará una visita a las instalaciones, con el fin de verificar el cumplimiento y ejecución de estos. Se observará y anotará los valores de los parámetros de operación de los equipos de filtración registrados en las bitácoras, así como los accesorios e infraestructura que utilizan para su funcionamiento.

- **Entrevista**

Se realizarán entrevistas con preguntas abiertas a los supervisores, jefes y gerentes del departamento de fabricación de azúcar, así como a los operadores del área de filtración. Las preguntas por realizar buscan identificar las variables y parámetros involucrados en el proceso de filtración y cómo estas determinan la eficiencia y eficacia de este.

9.10. Resultados esperados

Los resultados esperados de la investigación permitirán: determinar el rendimiento de recuperación de azúcar que posee el área de filtración con los equipos en ejecución; analizar los factores que afectan el entorno externo e interno del proceso; determinar las causas de las fallas del proceso; dimensionar la nueva área de filtración de residuos de caña utilizando filtros banda; y evaluar la rentabilidad económica del proyecto de inversión.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

La información recopilada durante el desarrollo de la investigación será organizada, analizada e interpretada, mediante diagramas, gráficos, medidas de tendencia central y medidas de dispersión. Estas técnicas de análisis permitirán elaborar los resultados de la investigación, con los cuales se espera cumplir con los objetivos planteados.

Para realizar el diagnóstico del proceso de filtración es necesario analizar la información documental y las entrevistas realizadas, de forma coherente y ordenada, lo cual puede desarrollarse mediante la elaboración de un diagrama de Ishikawa. El diagrama crea una visualización en detalle de las causas que generan el problema y los efectos que este provoca.

La media aritmética y la desviación estándar serán utilizadas para analizar los datos históricos de porcentaje de azúcar en residuos sin filtrar y porcentaje de pérdidas de azúcar en residuos filtrados, lo cual permitirá determinar el rendimiento de recuperación de azúcar de cada equipo de filtración. A partir de esta información se realizará un gráfico de columnas para comparar el rendimiento obtenido por cada equipo de filtración.

11. CRONOGRAMA

El desarrollo de la investigación será realizado según el cronograma mostrado en la figura 8. En el mes de mayo se estipula comenzar con la fase 1 de la investigación por un periodo de 4 semanas. La fase 2 tendrá una duración de 4 semanas. En 8 semanas será elaborada la fase 3. La fase 4 se realizará durante 9 semanas. Por último, el informe final se realizará en 5 semanas.

Tabla 2.
Cronograma

Actividad	Mayo				Junio				Julio					Agosto				Septiembre					Octubre				Noviembre			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4
Fase 1: Revisión documental	■	■	■	■																										
Investigación bibliográfica	■																													
Investigación documental de registros y procedimientos		■	■																											
Elaboración de encuestas y formatos de toma de datos				■																										
Fase 2: Diagnóstico del proceso					■	■	■	■																						
Realización de encuestas y toma de datos					■	■																								
Elaboración de diagrama de Ishikawa								■																						
Elaboración de diagrama FODA								■																						
Fase 3: Identificación de parámetros críticos									■	■	■	■	■																	
Análisis de parámetros críticos									■	■																				
Determinación rendimiento de recuperación de azúcar									■	■																				
Elaboración del diseño estructural													■	■	■															
Fase 4: Evaluación financiera del proyecto														■	■	■	■	■	■	■	■	■								
Elaboración de estudio técnico														■	■															
Elaboración de estudio económico																		■	■	■	■	■								
Evaluación financiera																						■	■							
Fase 5: Informa final																							■	■	■	■				
Discusión de resultados																							■	■						
Conclusiones																											■			
Recomendaciones																														■
Presentación informe final																														■

Nota. Detalle del cronograma para la ejecución del trabajo de investigación. Elaboración propia, realizado con Excel.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizará con recursos propios del estudiante de maestría, los cuales se describen en la Tabla I. El recurso de mayor importancia es el acceso a la información documental y del proceso, la cual será provista por la empresa, con autorización previa a realizar el trabajo de investigación. Los recursos aportados serán suficientes para la investigación, por ello, se considera factible la realización del estudio.

Tabla 3.

Recursos necesarios para la investigación

Descripción	Unidades	Costo Unitario	Costo Total
Recursos Humanos			
Honorarios asesor (ad honorem)	1	-----	Ad honorem
Recursos Materiales			
Hojas de papel bond (resma)	2	Q. 50.00	Q. 100.00
Bolígrafos	12	Q. 2.00	Q. 24.00
Impresora	1	Q. 2,500.00	Q. 2,500.00
Servicios			
Mensualidad internet	2	Q. 100.00	Q. 200.00
Mensualidad alimentación	2	Q. 300.00	Q. 600.00
Mensualidad transporte	2	Q. 600.00	Q. 1,200.00
Total			Q. 4,624.00

Nota. Detalle de los recursos necesarios para realizar el trabajo de investigación. Elaboración propia, realizado con Word.

REFERENCIAS

- Alfonso, A., Molineari, G., y Sacaramellini, N. (2018). *Las áreas funcionales en las organizaciones: particularidades en las organizaciones turísticas*. Edulp. [LAS ÁREAS FUNCIONALES EN LAS ORGANIZACIONES \(unlp.edu.ar\)](https://unlp.edu.ar)
- Baca Urbina, G. (2010). *Evaluación de proyectos*. McGraw-Hill/Interamericana Editores.
- Blank y Tarquin. (2012). *Ingeniería económica*. McGraw-Hill/Interamericana Editores.
- Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. (2012). *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. Librerías Artemis Edinter. [20170103101309141.pdf \(cengicana.org\)](https://cengicana.org/20170103101309141.pdf)
- Chacón A., J. y Mora C., J. A. (2020). *Valoración de la empresa DUWEST Colombia con el método de flujos de caja libre para el año 2018 y proyección financiera hasta el año 2023*. [Tesis de maestría, Universidad EFAIT]. Archivo digital. https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/17410/Jaime_ChacónAcosta_JorgeAndres_MoraChaves_2020.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Cheng, J. C. P. (1991). *Manual del azúcar de caña*. Limusa.

Ehrhardt, M. C. y Brigham, E. F. (2007). *Finanzas corporativas*. Cengage Learning Editores.

García Castro, P. (2018). *Proyecto de inversión y gestión del riesgo de una empresa de elaboración y comercialización de helado napolitano de crema, de crème*. [Tesis de maestría, Universidad Iberoamericana de Puebla]. Archivo digital.
<https://repositorio.iberopuebla.mx/bitstream/handle/20.500.11777/3813/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Kruger, G. P. N. (1984). The application of a horizontal vacuum belt filter to smuts dewatering and cane mud filtration. *Proceedings of The South African Sugar Technologists Association* 1(1), 34-38.
<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=2d7a5d0f13558bdea5650d592425a530675a9dd9>

Neible, J. W., y Freivalds, A. (2009). *Ingeniería industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo*. McGraw-Hill Interamericana Editores.
http://students.aiu.edu/submissions/profiles/resources/onlineBook/a9p7r9_Metodos%20estandares%20y%20diseno%20del%20trabajo.pdf

Petit, A. (2014). Application of vacuum belt press filters for cane mud filtration and performance comparison with rotatory filters. *Sugar Industry* 139(5), 298-301. <https://doi.org/10.36961/si15519>

Rainey, T.J., Thaval., O.P., y Rackemann, D.W. (2014). Developments in Mud Filtration Technology in the Sugarcane Industry. *Sugarcane: Production, Consumption and Agricultural Management Systems* 1(1), 263-292. https://www.researchgate.net/publication/265596677_Developments_in_Mud_Filtration_Technology_in_the_Sugarcane_Industry

Rein, P. W. (2012). *Ingeniería de la caña de azúcar*. Bartens.

Veliz Cruz, M. D. (2017). *Análisis de viabilidad financiera de micro-proyectos de tiendas de salud en comunidades rurales del departamento de Huehuetenango, impulsados por la organización internacional sin fines de lucro, Mercy Corps*. [Tesis de maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. biblioteca.usac.edu.gt

Villegas, M. A., y Espinal, L. J. (2020). *Factibilidad financiera de un proyecto de energía solar fotovoltaica financiado mediante un acuerdo de compra PPA*. [Tesis de maestría, Universidad EFAIT]. Archivo digital. https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/24825/LeidyJohana_EspinalZapata_MayraAlejandra_VillegasMachado_2020.pdf?sequence=2&isAllowed=y

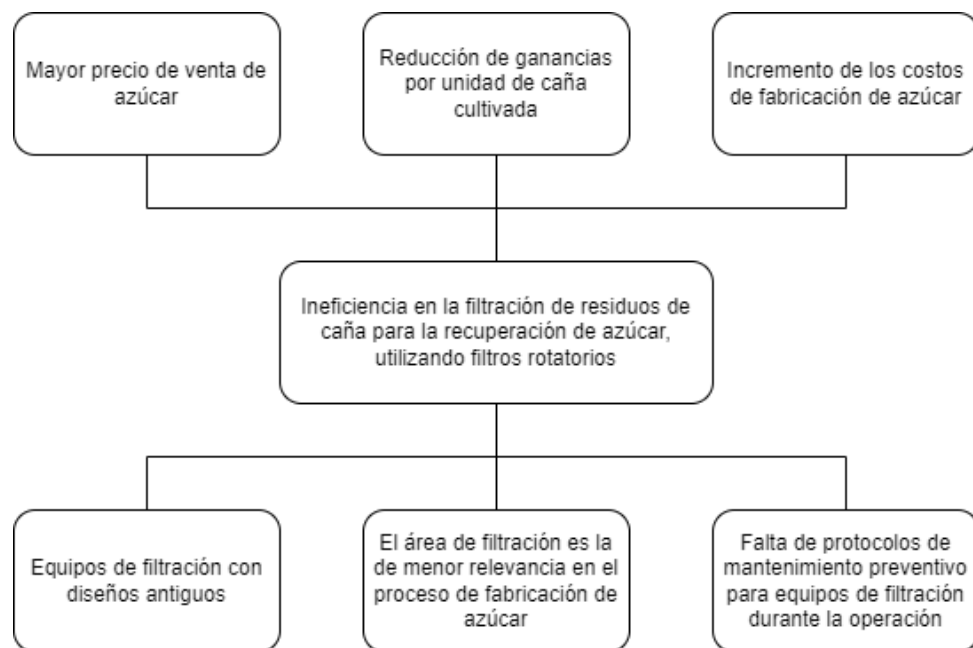
Wagner, Regina. (2007). *Historia de la caña de azúcar en Guatemala*. Galería Guatemala. <https://biblioteca.ufm.edu/opac/record/1058424>

White Millán, S. (2018). *Estudio de factibilidad para la creación de una empresa dedicada a fabricar y distribuir cerveza artesanal en El Valle de Aburrá*. [Tesis de maestría, Universidad EFAIT]. Archivo digital. https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/12449/Santiago_WhiteMillan_2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y

APÉNDICES

Apéndice 1.

Árbol del problema



Nota. Árbol del problema. Elaboración propia, realizado con Diagrams.net.

Apéndice 2.

Matriz de coherencia

TEMA	TITULO	PROBLEMA	PREGUNTA CENTRAL	PREGUNTAS SECUNDARIAS	OBJETIVO GUIA	OBJETIVOS ESPECIFICOS
Planeación de Proyectos en la industria azucarera	PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE UN ÁREA DE FILTRACIÓN DE RESIDUOS DE CANA, UTILIZANDO FILTROS BANDA, EN UN INGENIO AZUCARERO GUATEMALTECO, APLICANDO HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN FINANCIERA	Ineficiencia en la filtración de residuos de caña para la recuperación de azúcar utilizando filtros rotatorios	¿Qué propuesta es necesaria para el diseño de un área de filtración de residuos de caña en un ingenio azucarero?	<ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Cómo se realiza el proceso de filtración de residuos de caña con los equipos en ejecución? 2. ¿Cuáles son los parámetros críticos del proceso de filtración de residuos de caña? 3. ¿Cómo se evaluará la rentabilidad financiera de la propuesta de inversión en el diseño de un área de filtración de residuos de caña? 	Realizar una propuesta para el diseño de un área de filtración de residuos de caña de azúcar, utilizando filtros banda, en un ingenio azucarero	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar el diagnóstico del proceso de filtración de residuos de caña con los equipos en ejecución. 2. Determinar los parámetros críticos del proceso de filtración de residuos de caña. 3. Diseñar la metodología de evaluación financiera para la propuesta de inversión en el diseño de un área de filtración de residuos de caña utilizando filtros banda.

Nota. Detalle de matriz de coherencia. Elaboración propia, realizado con Word.