



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PROGRAMA PARA MITIGAR EMANACIONES DE
HUMO, GASES Y PARTÍCULAS SUSPENDIDAS GENERADOS POR UNA DESTILADORA
DE ALCOHOL**

Danilo Andrade Juárez

Asesorado por el Dr. Flavio Welmer Reyes Rodas

Guatemala, mayo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PROGRAMA PARA MITIGAR EMANACIONES DE
HUMO, GASES Y PARTÍCULAS SUSPENDIDAS GENERADOS POR UNA DESTILADORA
DE ALCOHOL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DANILO ANDRADE JUÁREZ

ASESORADO POR EL DR. FLAVIO WELMER REYES RODAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, MAYO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
EXAMINADOR	Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres
EXAMINADOR	Ing. Carlos Snell Chicol Morales
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PROGRAMA PARA MITIGAR EMANACIONES DE HUMO, GASES Y PARTÍCULAS SUSPENDIDAS GENERADOS POR UNA DESTILADORA DE ALCOHOL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 16 de noviembre de 2021.

Danilo Andrade Juárez

Ref. EEPFI-1636-2021
Guatemala, 16 de noviembre de 2021

Director
Gilberto Morales Baiza
Escuela de Ingeniería Mecánica
Presente.

Estimado Ing. Morales:

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: **PROGRAMA PARA MITIGAR EMANACIONES DE HUMO, GASES Y PARTÍCULAS SUSPENDIDAS GENERADOS POR UNA DESTILADORA DE ALCOHOL**, presentado por el estudiante **Danilo Eladio Andrade Juárez** carné número **9416139**, 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 Gestión 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,



Dr. Flavio Welmer Reyes Rodas
Asesor

Ph. D. Ing. Flavio Welmer Reyes Rodas
COLEGIADO No. 838
COLEGIO DE INGENIEROS QUÍMICOS DE GUATEMALA

"Id y Enseñad a Todos"



Mtro. Kenneth Lubeck Corado Esquivel
Coordinador de Gestión Industrial
Escuintla



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



El Director de la Escuela de Ingeniería en Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **PROGRAMA PARA MITIGAR EMANACIONES DE HUMO, GASES Y PARTÍCULAS SUSPENDIDAS GENERADOS POR UNA DESTILADORA DE ALCOHOL**, presentado por el estudiante universitario **Danilo Eladio Andrade Juárez**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Una firma manuscrita en tinta que parece ser "G. Morales Baiza".



Ing. Gilberto Morales Baiza
Director

Escuela de Ingeniería en Mecánica

Guatemala, febrero de 2022

LNG.DECANATO.OI.351.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PROGRAMA PARA MITIGAR EMANACIONES DE HUMO, GASES Y PARTÍCULAS SUSPENDIDAS GENERADOS POR UNA DESTILADORA DE ALCOHOL**, presentado por: **Danilo Eladio Andrade Juárez**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada ★

Decana

Guatemala, mayo de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser la luz de mi camino, por darme las fuerzas y sabiduría para alcanzar cada meta que me propongo.

Mis padres

Por ser los pilares fundamentales en mi vida, por nuestro amor filial y por enseñarme a luchar siempre por lo que deseo. Este logro también es de ustedes.

Mi familia

Por su apoyo, cariño y por los bonitos momentos que compartimos en familia.

Mis amigos

Por todas las aventuras que compartimos juntos.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por ser el guía de mi camino, infinitas gracias por todas las bendiciones en mi vida.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme la oportunidad de estudiar en tan prestigiosa institución, siempre orgullosa de mi <i>alma mater</i> .
Facultad de Ingeniería	Por enseñarme las herramientas necesarias a través del conocimiento técnico, científico y ético para desempeñarme como una profesional íntegra.
Mi asesor	Dr. Flavio Reyes, por el apoyo y el seguimiento que me brindó durante el proceso de mi diseño de investigación.
Mis mejores amigos	Por las anécdotas, las desveladas, las risas, las enseñanzas recíprocas y por crecer paralelamente conmigo. Los quiero mucho, mi familia por elección.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
3.1. Contexto general	7
3.2. Descripción del problema	7
3.3. Formulación del problema	8
3.4. Delimitación del problema	8
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. El proceso de producción de etanol	17

7.2.	La producción de etanol y la sociedad civil	18
7.3.	Enfermedades respiratorias e industria.....	19
7.4.	El reporte epidemiológico de salud pública	21
7.5.	Multas y sanciones por contaminación ambiental	22
7.6.	La licencia ambiental.....	23
7.7.	Rentabilidad sostenida.....	24
7.8.	La eficiencia de combustión de una caldera	25
7.9.	El personal de operación de una caldera.....	26
7.10.	Especificaciones de calidad de los combustibles	27
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	29
9.	METODOLOGÍA	31
9.1.	Características del estudio	31
9.2.	Unidades de análisis	32
9.3.	Variables	32
9.4.	Fases del estudio	33
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	37
10.1.	Estadística descriptiva.....	37
10.2.	La técnica de Delphi.....	37
10.3.	El censo	38
10.4.	Observación	38
10.5.	Análisis de laboratorio.....	38
11.	CRONOGRAMA	41
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	43

13. REFERENCIAS..... 45

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

TABLAS

I.	Esquema de solución	16
II.	Cuadro de operacionalización de las variables	32
III.	Cronograma de actividades	41
IV.	Recursos necesarios para la investigación	43

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm³	Centímetro cúbico
%	Porcentaje
Q	Quetzales

GLOSARIO

Alcohol etílico	El etanol, también llamado alcohol etílico, es un compuesto químico orgánico alifático con un grupo funcional hidroxilo, formando parte de la familia de los alcoholes, de fórmula empírica C_2H_6O .
Asincrónica	La comunicación asincrónica es aquella comunicación que se establece entre personas de manera diferida en el tiempo, es decir, cuando no existe coincidencia temporal o no hay intervención de las dos partes.
Biomasa	La biomasa fue la fuente energética más importante para la humanidad hasta el inicio de la revolución industrial, cuando quedó relegada a un segundo lugar por el uso masivo de combustibles fósiles. Se entiende como biomasa toda la materia orgánica susceptible de ser utilizada como fuente de energía.
Bunker	Es un combustible que normalmente proviene de la primera etapa del proceso de refinación (destilación atmosférica), viscoso y con alto contenido energético, lo cual lo hace apto para ser usado en calderas, hornos y para las plantas de generación eléctrica.

Caldera	En la industria, la caldera es una máquina que produce vapor al calentar agua por medio del calor generado por el consumo de un combustible no nuclear, o por electricidad de resistencia.
Destilar	Calentar un cuerpo hasta evaporar su sustancia volátil que, enfriada después, recupera su estado líquido.
Eficiencia	Corresponde a la razón entre el calor absorbido (por el agua, vapor, fluido térmico, entre otros) y el calor liberado en el equipo. La diferencia entre el calor liberado y el calor absorbido corresponderá a las pérdidas de calor de la caldera.
Emanar	Desprenderse o proceder de un cuerpo [un olor, una sustancia volátil, entre otros.
Flujograma	El diagrama de flujo o flujograma o diagrama de actividades es la representación gráfica de un algoritmo o proceso.
Marco lógico	El enfoque de marco lógico es una herramienta analítica, desarrollada en 1979, para la planificación de proyectos orientada al cumplimiento de objetivos.
Melaza	La melaza, mieles finales, miel de caña, miel negra o melaza <i>blackstrap</i> suelen definirse como los residuos de la cristalización final del azúcar.

Mitigar	Atenuar o suavizar una cosa negativa.
Recurrencia	Acción de volver a ocurrir o aparecer una cosa con cierta frecuencia o de manera iterativa.
Técnica cualitativa	Se suelen determinar o considerar técnicas cualitativas todas aquellas distintas al experimento. Es decir, entrevistas, encuestas, grupos de discusión o técnicas de observación y observación participante.
Técnica cuantitativa	Las técnicas cuantitativas permiten conocer la opinión de un número indeterminado de personas respecto a sus creencias, valores, hábitos, prioridades, preocupaciones.
Técnica Delphi	El método Delphi es una técnica de comunicación estructurada, desarrollada como un método sistemático e interactivo de predicción, que se basa en un grupo de expertos. Es una técnica prospectiva utilizada para obtener información esencialmente cuantitativa, pero relativamente precisa, acerca del futuro.
Vinaza	Las vinazas provienen de la caña de azúcar y se obtienen de la fermentación y destilación de las melazas; son el principal residuo orgánico en la obtención de alcohol. Es un líquido de color de café con bajo pH, olor dulce y alto contenido de materia orgánica disuelta y en suspensión.

RESUMEN

La operación de plantas industriales en la costa sur del país y la transformación de materias primas ha tenido impactos positivos y negativos para los pobladores.

De esa cuenta existen altas emanaciones de humo, gases y partículas suspendidas en el ambiente por una destiladora de alcohol etílico ubicada en el departamento de Escuintla.

Las altas emanaciones de humo, gases y partículas suspendidas se deben a las siguientes causas: una de las primeras causas identificada es la deficiente combustión en calderas. Esta deficiencia tiene mucha relación con el desempeño de los operadores. Lo anterior induce a otra causa que es personal no calificado en operaciones. Aunado a esta situación negativa también se puede establecer la mala calidad de combustible para combustión.

Las altas emanaciones de humo, gases y partículas suspendidas tienen como impacto negativo hacia los Consejos Comunitarios de Desarrollo los cuales están insatisfechos con la operación de la destilería por las enfermedades tipo respiratorias y oculares en los habitantes de las comunidades aledañas que se han incrementado rápidamente. Todo esto genera un grave problema de salud pública y tiene como efecto la recurrencia de multas y podría generar el posible cierre parcial o total de la planta por cancelación de licencia de operación.

Diseñar un programa de control mediante la técnica de Delphi para reducir las emanaciones de humo y gases, establecer procedimientos de operación y

lograr mayor eficiencia en las calderas, finalmente capacitar al personal de operaciones para lograr mayor eficiencia en la combustión. De esta manera se mejorará la calidad del aire y se evitarán multas innecesarias y la continua operación de la planta procesadora.

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento industrial es el brazo fuerte del desarrollo económico en Guatemala. En la costa sur del país, la operación de plantas industriales de transformación de materias primas ha repercutido en impactos positivos y negativos para la población. Una de las situaciones negativas que analizará este proyecto como problema de investigación son las altas emanaciones de humo, gases y partículas suspendidas en el ambiente generados por una destiladora de alcohol etílico ubicada en el departamento de Escuintla.

Al utilizar la técnica de Delphi para la solución de este problema, se hará eficiente la combustión en las calderas de la planta, se contará con personal calificado en la operación y supervisión, también se obtendrán especificaciones de calidad del combustible a utilizar en la producción de vapor. Los aportes y beneficios del estudio serán la reducción de enfermedades respiratorias de los habitantes de lugares aledaños. Con lo anterior, las comunidades organizadas (COCODES) estarán satisfechos con la operación de la planta y así eliminar la recurrencia de multas interpuestas por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. La estabilidad laboral para los trabajadores y rentabilidad sostenida para la empresa será otro logro importante de esta investigación.

El enfoque del estudio propuesto es mixto, pues se utilizarán técnicas cuantitativas y cualitativas; el alcance será descriptivo apoyándose mucho en la observación y el diseño será no experimental de tipo transversal. Este proyecto será un aporte viable en los ejes industrial y social que la Universidad de San Carlos de Guatemala que contiene en su plan estratégico, pues la realización de la presente investigación se justifica en la línea de investigación de sistemas de

control de calidad. Los recursos para realizar la investigación serán aportados por el estudiante investigador, por lo tanto, se considera que es factible la realización del estudio.

En los capítulos 1 al 7 se analizarán los aspectos teóricos del estudio. En los capítulos 8, 9 y 10 se presentarán los resultados, la discusión de los mismos y la propuesta de solución. Finalmente se presentarán las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

2. ANTECEDENTES

El diseño de investigación de la mejora en la eficiencia energética de la caldera del laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad de San Carlos de Guatemala, mediante el aprovechamiento de los gases de combustión fue un estudio realizado por Montenegro (2014). Los objetivos fueron enfocados a calcular la cantidad de consumo energético en la caldera y determinar la propuesta de diseño para el aprovechamiento del calor producido por los gases de combustión de chimenea. Finalmente considera que fue factible la realización del estudio ya que los recursos aportados son suficientes para la investigación y los cambios propuestos.

Se han realizado varias investigaciones referentes a las mejoras en la operación y combustión de calderas, Estrada (2014) realizó el trabajo de graduación de ingeniería mecánica titulado, *Diseño del sistema para reemplazar el quemador diésel por uno de gas la, de la caldera de 600bhp en la empresa ADSA*. El propósito de la investigación fue identificar el quemador que se ajustara a las necesidades del diseño, llegando a la conclusión de que el modelo de quemador para gas LP Num. 252 S/P, de la marca Cleaver Brooks, es la mejor propuesta equivalente, para el reemplazo del quemador diésel que se tenía en uso actualmente. Y recomienda que el departamento de compras debe proporcionar los precios actualizados del gas LP y del Diesel al jefe de mantenimiento, para validar el costo beneficio de la propuesta de reemplazo.

En otros países como Perú se han hecho estudios similares, por ejemplo, Ibañez (2012) realizó la propuesta de mejoras para la actividad de los hornos y calderas de una refinería para reducir el impacto ambiental generado,

estableciendo pautas para la implementación de un sistema de gestión ambiental. La investigación buscó las propuestas técnicas para la mejora de aspectos ambientales críticos. Mediante el ciclo PHVA (planear, ejecutar, verificar y actuar). La propuesta logró establecer unas bases suficientemente claras para poder implementar tal sistema de gestión ambiental.

Otra de las investigaciones que se han realizado y que tienen relación con las emisiones de calderas y enfermedades respiratorias fue la de Cañizales (2003) quién hizo el estudio de las emisiones contaminantes asociadas a la empresa azucarera Melanio Hernández y su influencia en las enfermedades respiratorias de la comunidad de Tuinucú.

El propósito fue encontrar la causa de las quejas de la población por la presencia de altos niveles de humo y gases provenientes de las calderas, así como sólidos sedimentables y malos olores provenientes del sistema de tratamiento de residuales líquidos de la destilería y la industria azucarera. De los resultados y conclusiones obtenidos recomienda implementar las alternativas de solución propuestas y monitorear su cumplimiento y efectos en la comunidad.

Finalmente, Valle (2003) realizó su trabajo de graduación titulado, *Documentación de procedimientos y operación de procesos de una caldera acuotubular de 225,000 lb-vapor/hr en un ingenio azucarero (Ingenio Magdalena S.A.)*. En el proyecto se elaboraron estándares de operación basándose en los procedimientos y operación de procesos de la caldera y también se conoció el funcionamiento y la operación para la respectiva documentación.

El trabajo concluye qué al documentar los procedimientos y operación de proceso de la caldera se obtiene una herramienta de trabajo indispensable para la correcta operación. En las recomendaciones sugiere que los documentos de

procedimientos de operación deben de ser actualizados por lo menos una vez por año, para el registro respectivo de cambios.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

El problema detectado es que existen altas emanaciones de humo, gases y partículas suspendidas en el ambiente generados por una destiladora de alcohol etílico ubicada en el departamento de Escuintla.

3.2. Descripción del problema

Las altas emanaciones de humo, gases y partículas suspendidas se deben a las siguientes causas: la primera causa identificada es la deficiente combustión en calderas. Esta deficiencia tiene mucha relación con el desempeño de los operadores. Lo anterior induce a otra causa que es personal no calificado en operaciones. Aunado a esta situación negativa también se puede establecer como tercera causa la mala calidad de combustible para combustión.

Las altas emanaciones de humo, gases y partículas suspendidas tienen como impacto negativo los COCODES (Consejos Comunitarios de Desarrollo) insatisfechos con la operación de la destilería por las enfermedades respiratorias y oculares en los habitantes de las comunidades aledañas que se han incrementado rápidamente. Lo anterior genera un grave problema de salud pública y tiene como efecto la recurrencia de multas impuestas por el Ministerio de Ambiente y el posible cierre parcial o total de la planta por cancelación de licencia de operación.

3.3. Formulación del problema

Lo anterior lleva a plantear la pregunta central de este estudio.

- Pregunta central
 - ¿Es posible diseñar un programa de control para mitigar las emanaciones de humo, gases y partículas suspendidas en el ambiente generados por una destiladora de alcohol etílico?

- Preguntas auxiliares
 - ¿Existe un procedimiento de operación para lograr eficiencia de combustión en calderas?
 - ¿Qué acciones se pueden proponer para que la operación en calderas tenga personal capacitado?
 - ¿Se pueden definir especificaciones para la calidad del combustible para combustión?

3.4. Delimitación del problema

La investigación se realizará en una planta destiladora de alcohol etílico. La empresa es de tipo industrial cuya actividad principal es utilizar miel final de caña de azúcar como materia prima para transformarla en alcohol. La unidad de análisis será en el área de calderas de la planta. La destiladora se encuentra ubicada en el municipio de la Democracia del departamento de Escuintla. La

investigación se realizará desde el mes de mayo de 2021 al mes de diciembre de 2021.

4. JUSTIFICACIÓN

La realización de la presente investigación se justifica en la línea de investigación de sistemas de control de calidad como implementación del modelo de calidad mediante la técnica de Delphi.

El proyecto de investigación logrará mitigar las emanaciones de humo, gases y partículas suspendidas en el ambiente generados por las calderas de la planta y se tendrán los siguientes productos: eficiente combustión en calderas, personal calificado en operaciones y la adquisición de combustible de buena calidad para la operación.

La solución del problema planteado beneficiará a los habitantes de las comunidades aledañas pues se espera que las enfermedades respiratorias y oculares disminuyan al no estar expuestos a ningún tipo de emanaciones producto de la combustión en calderas.

Los trabajadores y accionistas de la empresa también saldrán beneficiados al eliminar la recurrencia de multas y el pago de las mismas al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y descartar el cierre por cancelación de licencia de operación, garantizando así la estabilidad laboral y la rentabilidad de la empresa.

La pertinencia de este proyecto es poner en práctica los conocimientos adquiridos en la Maestría de Gestión Industrial y relevancia social de este aporte de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala radica en la solución de un problema

que tendrá como efecto positivo la reducción de un inconveniente de salud pública.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseñar un programa de control mediante la técnica de Delphi para mitigar las emanaciones de humo, gases y partículas suspendidas en el ambiente generados por una destiladora de alcohol etílico.

5.2. Específicos

- Establecer un procedimiento de operación para lograr eficiencia en combustión de calderas.
- Proponer acciones para que la operación de calderas se realice con personal capacitado.
- Definir estándares de calidad ambiental del aire que circula en el área de influencia de la caldera de combustión.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Ante la falta de eficiente combustión en calderas, personal calificado en operaciones y buena calidad de combustible para combustión se busca solucionar el problema de altas emanaciones de humo, gases y partículas suspendidas en el ambiente generados por una destiladora de alcohol etílico. Esto logrará disminuir las enfermedades respiratorias y oculares de los habitantes de las comunidades aledañas a la planta como un inconveniente de salud pública, eliminando la recurrencia de multas interpuestas por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Se espera continuar con la licencia de operación que garantice estabilidad laboral y rentabilidad sostenida de la empresa.

Para lograr lo anterior, se utilizará utilizando la técnica de Delphi. Las necesidades que el estudio de investigación cubrirá en el área de calderas de la planta son: diagnóstico de la situación actual, flujograma del proceso, redacción y validación del procedimiento de operación, manual y descripción de puestos, capacitaciones, evaluación de competencias, revisión y definición de especificaciones de calidad para combustible de combustión. El esquema de solución se presenta en la siguiente figura:

Tabla I. **Esquema de solución**

Resultados	Necesidades a cubrir	Indicadores	Metodología
Procedimiento.	Validación.	Validado en tres meses.	Marco lógico, descriptivo. Delphi
Personal calificado.	Capacitación.	Cien por ciento en dos meses.	Asincrónica.
Aire de calidad	Especificaciones de calidad	Cien por ciento en tres meses.	Bibliográfica.

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

7. MARCO TEÓRICO

En esta sección se presentan los conceptos y definiciones que están integrados en cada uno de los elementos del marco lógico utilizado como base en esta investigación.

Rodríguez (2011) explica que:

Al marco teórico de una investigación se le conoce también como marco conceptual, marco referencial, literatura sobre el tema, entre otros. Consiste en acudir a las fuentes de información, revisar la literatura existente sobre el problema ya definido, delimitado y formulado de investigación, con el objeto de recopilar la información existente para elaborar el trabajo monográfico sobre el tema elegido para la investigación. (p. 98)

7.1. El proceso de producción de etanol

Para la producción de etanol se utiliza miel final que es un coproducto de la fabricación de azúcar de caña. Se conoce también como melaza cuya concentración oscila los 85 grados brix (Mesa *et. al.*, 2005).

Las mieles se diluyen con agua hasta brix en intervalo de 12 % a 14 %, esta dilución pasa a ser fermentada en una fermentadora donde se le adiciona un microorganismo conocido como levadura para acelerar la fermentación. de ser fermentado pasa al proceso de destilado.

En el proceso de destilación sale un subproducto que es la vinaza. Hasta hace poco se le consideraba como contaminante, pero en la actualidad es usado para fertilizar las tierras sembradas de caña (Cardona *et. al.*, 2005).

Las grandes fábricas de fertilizantes las están usando para extraer fósforo ya que tiene un alto grado de fósforo en su compuesto químico.

A partir de la destilación se obtienen dos productos, alcohol hidratado y anhidro. El hidratado es usado en la industria farmacéutica e industrias de bebidas alcohólicas ya que su contenido de agua es del 9 %. El alcohol hidratado no puede usarse como combustible es porque la mezcla (alcohol-gasolina) se separaría en una fase de gasolina pobre en alcohol y en una fase de agua rica en alcohol; siendo el agua más pesada (densidad: 1.0) que la gasolina (densidad: 0.70 a 0.75 gramos/cm³), el agua se iría al fondo del tanque y llegaría primero al motor del vehículo causando fallas en su operación. Mientras el alcohol anhidro se obtiene sacando más agua al mosto fermentado, es el recomendado para la mezcla con gasolina por su porcentaje en agua que es del 0.7 %, este porcentaje no afecta al motor de gasolina.

7.2. La producción de etanol y la sociedad civil

Generalmente se sabe que cualquier tipo de desarrollo causa efectos negativos en el área de influencia donde opera. La industria del etanol es un claro ejemplo de las incomodidades que sufren las personas que habitan cerca de las plantas productoras. Uno de los contaminantes que ha generado estragos en los cuerpos receptores, dígame ríos y áreas de tierra es la vinaza.

La industria de producción de etanol de Guatemala está integrada por la agroindustria azucarera de la costa sur. Es decir, las plantas productoras de

etanol, se encuentran a un costado de los ingenios azucareros y forman parte del patrimonio de las sociedades de cada una de las corporaciones industriales que pertenecen al sector azucarero de la caña. La exigencia de los clientes internacionales, respecto al cumplimiento de normativas estandarizadas para la protección del medio ambiente y proyección social, ha hecho que estas grandes industrias tomen acciones preventivas y correctivas para mitigar la contaminación.

En los últimos años, la agroindustria del azúcar, representada como la asociación de azucareros de Guatemala (ASAZGUA) ha creado programas de proyección social en diferentes comunidades del país. Uno de los mayores logros de ASAZGUA ha sido la creación de la fundación para el azúcar (FUNDAZUCAR), que integra programas específicos de acercamiento a las comunidades del área de influencia de los ingenios y de las de origen de los cortadores de caña que generalmente provienen del altiplano del país. Dentro de los aportes que esta fundación brinda a la comunidad está la capacitación y seguimiento para la elaboración de planes de desarrollo comunitario, proyectos de agua y saneamiento, capacitación de mujeres, jóvenes y maestros en diferentes ramas del conocimiento y práctica (Asociación de azucareros de Guatemala, 2021).

7.3. Enfermedades respiratorias e industria

Los habitantes de las comunidades de la costa sur de Guatemala se ven afectados por enfermedades respiratorias.

Contreras (2010) estableció:

Uno de los principales impactos del proceso de producción de la caña de azúcar es la contaminación del aire por la quema de los cañaverales. La quema produce el llamado humo blanco sin llama, que es considerado más perjudicial que el humo negro, especialmente para los trabajadores directamente afectados por este proceso. (p. 43)

Sin embargo, se ha determinado que los procesos de combustión también generan humos que tienen gases contaminantes como el dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno, así como material particulado que afecta principalmente las vías respiratorias de las personas que los inhalan (OMS, 2005).

Las operaciones de combustión relacionadas a las enfermedades respiratorias de las personas son las que se realizan en las calderas para la producción de vapor. Generalmente el combustible utilizado por estas calderas en la agroindustria azucarera y del etanol, es biomasa, es decir, queman el bagazo obtenido como coproducto de la producción de azúcar. También utilizan combustibles fósiles como bunker cuyos humos generados tienen una carga de sólidos o partículas suspendidas y de gases de combustión, dentro de ellos dióxido de carbono, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno.

Las personas que tienen mayor riesgo de padecer enfermedades respiratorias son los niños y las personas de la tercera edad. Se ha encontrado una relación entre la inhalación de humo de combustión ya sea por combustibles de biomasa y fósiles con deterioro pulmonar, infecciones respiratorias y pulmonía (Escobar, 2016).

Los riesgos se incrementan mientras más cercanas estén las poblaciones de las plantas productoras o ingenios azucareros, sin que para ello, las entidades de vigilancia de ambiente y salud pública hagan algo al respecto.

7.4. El reporte epidemiológico de salud pública

La situación epidemiológica, respecto a enfermedades respiratorias en Guatemala es grave. De acuerdo al informe epidemiológico del ministerio de salud pública y asistencia social, en la semana del a la fecha de 23 de enero se reportaron 31,725 casos de infecciones respiratorias agudas (Ministerio de salud pública y asistencia social, 2021).

Sólo en el departamento de Escuintla fueron 1805 casos reportados con una tasa de 197.1 casos por cada 100,000 habitantes.

La incidencia de las infecciones respiratorias agudas se focaliza en niños y niñas comprendidas de 2 a 9 años, los menores de 5 años constituyen el grupo de edad más afectado. Hay un comportamiento especial en mujeres de 25 a 39 años que pueden ser amas de casa que se quedan haciendo labores domésticas mientras sus esposos se dedican al trabajo agrícola o industrial. Una de las recomendaciones que plantea el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, mediante el departamento de epidemiología, es fortalecer las acciones de prevención, promoción, información y educación de las medidas de higiene respiratoria y alimenticia, cuya responsabilidad descansa en la red de servicios de salud.

Las causas de estas infecciones pueden ser diversas. Desde invasiones virales hasta inhalación de gases y material particulado suspendidos en el aire.

No se debe descartar que el producto de la combustión de las calderas de las industrias pueden contribuir en alguna proporción al incremento de casos.

7.5. Multas y sanciones por contaminación ambiental

El Decreto 68-86 en el título V, capítulo único de la Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente establece las infracciones y sanciones en materia de contaminación ambiental. Del artículo 30 al 37 describe el procedimiento para realizar las respectivas denuncias ante la comisión nacional del medio ambiente que ahora es el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y el debido proceso que se debe agotar previo de imponer sanciones o multas a los infractores. Es muy enfático el artículo 36 de esta ley al establecer que toda multa o sanción que se imponga, deberá hacerse efectiva en los plazos que la comisión establezca para cada caso en particular. En caso de incumplimiento, se procederá de conformidad con la ley correspondiente, siempre que no existan recursos pendientes.

Toda ley necesita ser efectiva para su formal cumplimiento, por ello es necesario que integre un reglamento. En el caso de la Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente, fue aprobado el Reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental (RECSA) mediante el Acuerdo Gubernativo No. 137-2016 y publicado en el diario oficial el martes 12 de julio de 2016. El acuerdo gubernativo No. 137-2016 regula específicamente lo establecido en el artículo 8 de la ley que hace referencia a todo tipo de obra o actividad que conlleve la explotación de los recursos naturales de cualquier índole dentro del territorio guatemalteco.

7.6. La licencia ambiental

El artículo 8 de la Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente establece que para todo proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad que por sus características pueda producir deterioro a los recursos naturales renovables o no, al ambiente, o introducir modificaciones nocivas o notorias al paisaje y a los recursos culturales del patrimonio nacional, será necesario previamente a su desarrollo un estudio de evaluación del impacto ambiental (EIA), realizado por técnicos en la materia y aprobado por la Comisión del Medio Ambiente (Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente, 1986).

El funcionario que omitiere exigir el EIA de será responsable personalmente por incumplimiento de deberes y el particular que omitiere cumplir con dicho EIA será sancionado con una multa de Q. 5,000.00 a Q. 100,000.00.

En caso de no cumplir con este requisito en el término de seis meses de haber sido multado, el negocio será clausurado en tanto no cumpla (Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente, 1986).

La licencia ambiental es un documento que es brindado por el Ministerio de Ambiente y Recursos naturales que se obtiene de la resolución final del procedimiento administrativo que da como aprobado el instrumento ambiental utilizado. Los instrumentos ambientales son los documentos técnicos en los cuales se encuentra contenida la información necesaria para realizar una identificación y evaluación ordenada de los impactos o riesgos ambientales de un proyecto, obra industria o actividad. Abarca los instrumentos predictivos, correctivos y complementarios.

El estudio de evaluación de impacto ambiental (EIA) es el documento técnico que permite identificar y predecir, con mayor profundidad de análisis, los efectos sobre el ambiente que ejercerá un proyecto (Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental, 2016).

En el caso de las empresas o industrias que ya están en funcionamiento, lo que deben realizar es un diagnóstico ambiental. El diagnóstico ambiental (DA) es el instrumento de evaluación ambiental cuyos impactos son determinados mediante sistemas de evaluación basados en muestreos y mediciones directas. Su objetivo es determinar las acciones correctivas necesarias para mitigar impactos adversos. Los diagnósticos ambientales se categorizan como A1, B1, B2 y C, los dos últimos se consideran de bajo impacto.

7.7. Rentabilidad sostenida

La rentabilidad sostenida es proporcional al estado mental positivo de la empresa. Cultivar una mentalidad positiva contribuye ciertamente no solo a saludables niveles de ánimo, sino también a mayores niveles de productividad laboral y por ende mayor rentabilidad sostenible (Vignale, 2021).

Existe una estrecha relación entre los niveles de satisfacción de vida y los niveles de éxito empresarial.

Toda empresa privada tiene un propósito lucrativo. Los beneficios obtenidos para los inversionistas del negocio también deben estar reflejados en los ingresos salariales de los colaboradores. He ahí la clave del éxito empresarial, lograr esa satisfacción personal con la carrera profesional que se haga dentro de la empresa y los beneficios que se trasladan hacia la familia.

El estado mental positivo de las personas dentro de la empresa es muy importante. Algunos de los efectos más resaltantes de desarrollar un estado mental positivo en la empresa, son los siguientes: mayor productividad, resiliencia, volumen de ventas y colaboración. Otra de las bondades de la rentabilidad sostenida es la identificación de los colaboradores y la junta directiva en la solución de problemas, especialmente cuando se inculca la disciplina de los círculos de calidad.

7.8. La eficiencia de combustión de una caldera

Una caldera es un equipo indispensable para la industria en virtud de que en ella se produce vapor que se utiliza en diferentes operaciones unitarias de transferencia de calor. La operación adecuada de una caldera tiene una relación directa con la eficiencia. Es importante que la operación de la caldera se realice dentro de los parámetros de control establecidos para lograr las mayores eficiencias y producir la mayor cantidad de vapor.

La eficiencia de una caldera se traduce como la eficiencia de combustión. Aguilar (2015) define la eficiencia de una caldera como “la relación entre la cantidad de energía contenida en el vapor generado y la cantidad de energía suministrada por la quema del combustible en la caldera” (p. 7). Lo anterior quiere decir que se debe aprovechar adecuadamente el combustible para la generación de vapor.

La eficiencia de la caldera se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\text{flujo másico del vapor} \cdot \text{calor latente del vapor}}{\text{flujo másico del combustible} \cdot \text{poder calorífico del combustible}} \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

Entiéndase que los flujos máxicos pueden estar dados en kilogramo/hora, el calor latente y poder calorífico en KiloJoules/Kilogramo, todos en el sistema internacional para que las unidades de medida se eliminen y el resultado se expresa como porcentaje. Cuando vemos por las chimenea de una caldera, escape de humo negro, por simple inspección se puede deducir que la eficiencia no es muy buena, es decir, la combustión no se está llevando a cabo adecuadamente. Estos casos se pueden detectar en las industrias, especialmente las de maquila de ropa y los ingenios azucareros de la costa sur de Guatemala.

7.9. El personal de operación de una caldera

Como vimos en el apartado anterior, la operación de una caldera es muy importante para tener una eficiencia de combustión adecuada. Es importante designar personal capacitado para realizar la operación de la caldera cuando esté en funcionamiento. Los operadores de las calderas deben conocer a detalle los parámetros de operación y control.

La instrucción y capacitación del personal operario debe realizarse de forma continua y constante. Generalmente las capacitaciones son impartidas por los fabricantes de calderas o de ventas de accesorios o de productos químicos para el tratamiento del agua. Se debe enfatizar que el operador de calderas es responsable de la vigilancia, supervisión y realizar los controles correctos del funcionamiento.

La documentación es muy importante, la que debe estar a cargo de los operadores de calderas. Debe disponerse de un libro donde estén los formatos de los controles respectivos, listos para llenarse y que sirvan como elemento de juicio en la toma de decisiones. De la documentación se sabrá el momento para

tomar acciones correctivas o preventivas en la operación, así como el mantenimiento adecuado en todos los sistemas de la instalación de los equipos de la caldera.

7.10. Especificaciones de calidad de los combustibles

A lo largo de la historia, los combustibles han evolucionado, desde los de origen vegetal hasta los de tipo mineral. Algunas calderas industriales operan con cascarilla de café, bagazo, madera, carbón, diesel o bunker. Los ingenios azucareros por ejemplo utilizan en todo el período de zafra el bagazo producto de la molienda como combustible y cuando la zafra termina siguen generando energía eléctrica pero la combustión en las calderas la realizan con bunker.

Combustible es aquel material capaz de liberar energía en forma de calor cuando reacciona con el oxígeno que generalmente se encuentra en el aire. En la reacción de combustión hay liberación de energía que es la que se utiliza para el intercambio de calor y transferirla al agua para cambiar su fase y producir vapor con grandes cambios de energía interna. Actualmente los combustibles utilizados en la combustión de calderas pueden ser sólidos, líquidos y gaseosos.

Las especificaciones de calidad de los combustibles pueden establecerse de acuerdo a sus propiedades más generales. El poder calorífico, peso específico, densidad, contenido de azufre y humedad son las propiedades que se deben priorizar para determinar las especificaciones de calidad. Las especificaciones de calidad a establecer deben estar en concordancia con el tipo de combustible a emplear, ya sea sólido, líquido o gaseoso.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTAS ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

- 1.1. El proceso de producción de etanol
- 1.2. La producción de etanol y la sociedad civil
- 1.3. Enfermedades respiratorias e industria
- 1.4. El reporte epidemiológico de salud pública
- 1.5. Multas y sanciones por contaminación ambiental
- 1.6. La licencia ambiental
- 1.7. Rentabilidad sostenida
- 1.8. La eficiencia de combustión de una caldera
- 1.9. El personal de operación de una caldera
- 1.10. Especificaciones de calidad de los combustibles

2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

Para la realización de este estudio es necesario definir una metodología. Ortiz (2003) indican que “metodología es la descripción pormenorizada de la aplicación de métodos y técnicas particulares relativas al tipo de investigación en cuestión” (p. 10). A continuación, se presenta la metodología que describe en detalle la manera en que se efectuó esta investigación.

9.1. Características del estudio

El enfoque del estudio propuesto es mixto, empleará técnicas cuantitativas y cualitativas. Es cuantitativo porque se utilizarán técnicas estadísticas, censos y valores numéricos. También es cualitativo porque se hará uso de la técnica de entrevista mediante un cuestionario debidamente estructurado y revisión documental.

El alcance planteado para el estudio es descriptivo. “La investigación descriptiva busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice” (Hernández, Fernández y Baptista, 2010, p. 80). Busca realizar un diagnóstico de la realidad del problema planteado.

El diseño adoptado será no experimental. Este diseño también se conoce como observacional, pues la información del diseño de un programa mediante la técnica de Delphi para mitigar las emanaciones de humo, gases y partículas suspendidas en el ambiente generados por una destiladora de alcohol etílico ubicada en el departamento de Escuintla, se analizará en su estado original sin

ninguna manipulación. Además, será transversal pues se estudiará el fenómeno mediante única medición de las variables.

9.2. Unidades de análisis

La población en estudio será constituida por los operadores y supervisores del área de calderas. Como esta población es muy pequeña, no fue necesario utilizar fórmulas para calcular el tamaño de muestra. El muestreo a utilizar será de selección intencional, pues Monje (2010) lo denomina también, como muestra de voluntarios, ya que las personas participantes lo harán por voluntad propia.

9.3. Variables

A continuación, se desarrolla en la tabla II el cuadro de operacionalización de variables.

Tabla II. **Cuadro de operacionalización de las variables**

Variable	Tipo	Definición teórica	Definición operativa
Multas	Dependiente	Sanción económica que da el Ministerio de Ambiente por el incumplimiento a normativas legales.	Se medirá mediante una escala nominal.
COCODES satisfechos	Dependiente	Consejo comunitario de desarrollo.	La medición será a través de una escala ordinal.
Enfermedades respiratorias	Dependiente	Las enfermedades respiratorias afectan a las vías respiratorias, incluidas las vías nasales, los bronquios y los pulmones. (Neumonía, bronquitis, asma)	Se medirá la incidencia mediante una escala nominal.

Continuación tabla II.

Eficiencia de combustión.	Independiente	Es la energía total contenida por unidad de combustible menos la energía llevada por los gases de combustión y el combustible no quemado.	Medición cuantitativa de tipo continua en porcentaje.
Personal capacitado.	Independiente	Individuo que ha recibido una instrucción, capacitación, educación para lograr competencia en sus actividades operativas.	Medición cualitativa con escala ordinal.
Calidad de combustible	Independiente	Cualidad o características que hacen el combustible libre de impurezas que obstruyen y dificultan la combustión.	Medición cuantitativa continua del poder calorífico, en KWH/Kg

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word 2021.

Las variables en estudio se definen en la figura anterior. En este estudio, producto del análisis del marco lógico se han identificado variables independientes y variables dependientes. Se analizarán variables de tipo cualitativo de escala nominal y ordinal, las variables de tipo cuantitativo a utilizar serán continuas. Las variables en estudio se describen a continuación:

9.4. Fases del estudio

En este apartado se hace la descripción del proceso por medio del cual se realizará el estudio. Se utilizarán varias técnicas cuantitativas como la recolección de datos mediante cuestionario, análisis de estadística descriptiva y análisis de laboratorio para la medición de partículas suspendidas en el aire (PM10 y PM2),

dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno, estas métricas que integran el problema bajo estudio.

Desde el punto de vista cualitativo se empleará la técnica de Delphi que integra entrevistas indicando las técnicas que aplicarán y las actividades que se realizarán, por ejemplo: Encuestas, grupos focales, trabajo de campo, mediciones, ensayos de laboratorio, entre otros. A continuación, se presentan las fases que conlleva el proceso de este estudio.

- Fase 1: revisión de literatura. Esta fase complementa la estructura del marco teórico. Se indagará sobre documentación específica del problema y de la definición de variables. Se realizará búsqueda en las bases de datos en internet sobre la metodología Delphi que se incluyen en investigaciones, tesis, artículos científicos, entre otros.
- Fase 2: gestión, recolección de la información y diagnóstico. El diagnóstico de la situación actual del problema se realizará utilizando la técnica cualitativa Delphi.

El Delphi es una metodología estructurada para recolectar sistemáticamente juicios de expertos sobre un problema, procesar la información y a través de recursos estadísticos, construir un acuerdo general de grupo. Permite la transformación durante la investigación de las apreciaciones individuales de los expertos en un juicio colectivo superior (García y Suárez, 2013. p. 256).

La aplicación de la metodología Delphi integra técnicas para la recogida de datos e información con actividades grupales de lluvia de ideas, entrevistas y cuestionarios.

- Fase 3: análisis de información. Todos los datos recabados serán analizados para convertirse en información. Se utilizarán aplicaciones de Office 2016 para su correcto análisis. Dentro de las técnicas a utilizar será el análisis 6M y análisis de Pareto.
- Fase 4: interpretación de información. Nuevamente se recurrirá a las actividades grupales para la interpretación de información. La técnica de lluvia de ideas será muy importante en la metodología Delphi que se tiene contemplado utilizar. Esta fase será orientada a la priorización de acciones preventivas y correctivas que serán elementales en el diseño del programa para mitigar las emanaciones de humo, gases y partículas suspendidas en el ambiente generados por la destiladora de alcohol.
- Fase 5: diseño del programa (propuesta). De las reflexiones y lecciones aprendidas será prioridad presentar una propuesta. Se planteará un programa de gestión para la mitigación de las emanaciones de humo y partículas para la empresa donde se realizará el estudio. El programa debe integrar una política de mejora continua que debe ser de cumplimiento estrictamente obligatorio, sin embargo, quedará a discreción de la empresa la implementación de la propuesta planteada.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

En esta sección se presentan todas las técnicas que contribuyen a que los datos que se recaben se conviertan en información. Una técnica es "un conjunto de reglas y operaciones para el manejo de los instrumentos que auxilian al individuo en la aplicación de los métodos" (Ortiz, 2003, p. 150). Las técnicas de análisis de información que se emplearán en el estudio se presentan a continuación.

10.1. Estadística descriptiva

La estadística descriptiva es una técnica cuantitativa. "Es el uso de las técnicas para obtener y analizar datos, incluyendo el diseño de cuestionarios en caso de ser necesarios, se debe usar un plan para la obtención de los datos" (Rodríguez, 2007, p. 11). Se utilizarán medidas de tendencia central y de dispersión que serán procesadas en el programa estadístico SPSS.

10.2. La técnica de Delphi

Esta es la técnica más importante a usar en esta investigación. "Es una técnica de estructuración de un proceso de comunicación grupal que es efectivo a la hora de permitir a un grupo de individuos, como un todo, tratar un problema complejo" (Mercado *et. al.*, 2017, p. 15). Por otro lado, Santiesteban (1992) explica que para llevar a cabo la técnica de Delphi se utiliza un procedimiento similar al de otras técnicas de dinámica de equipos, pero en este caso, las personas que participan brindan las respuestas de los análisis realizados a un facilitador sin llegar a reunirse entre ellos para evitar conflictos en las diferentes

formas de pensamiento técnico. Delphi es una técnica que se utiliza mucho en investigación cualitativa y actualmente se ha expandido su uso a estudios con enfoque mixto.

10.3. El censo

Se empleará un cuestionario debidamente estructurado para ejecutar el censo. Rodríguez (2001) indica que el censo se utiliza cuando se quiere conocer la opinión de la totalidad de una población bajo estudio. Esta es una técnica cuantitativa y estará dirigida a los operadores, supervisores y jefes de turno del área de calderas de la planta de producción de etanol.

10.4. Observación

Es muy importante observar los procesos para deducir las posibles causas del problema y sus efectos. Sierra (1997) indica que “la observación proporciona al investigador la materia de trabajo que ha de ser objeto después del tratamiento y estudio científicos” (p. 240). En esta investigación se utilizará la observación directa y documental, ya que es una técnica cualitativa.

10.5. Análisis de laboratorio

Se realizará análisis de laboratorio para la medición de partículas suspendidas en el aire (PM10 y PM2), dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno.

Los materiales particulados (polvo, MP), identificados como PST (partículas suspendidas totales), PM10 (material particulado con un diámetro menor a 10 micrómetro, μm) y PM2.5 (material particulado con un diámetro menor a

2.5 micrómetro, μm) son parte de los indicadores criterios para medir la calidad del aire limpio en un área determinada. (Meza *et. al.*, 2009, p. 46)

De acuerdo a la OMS (2005) el dióxido de nitrógeno (NO_2) y el dióxido de azufre (SO_2) son contaminantes generados por la combustión y afectan negativamente la salud de las personas, provocando problemas respiratorios. La medición del material particulado y los gases mencionados anteriormente serán realizados por personal técnico de un laboratorio particular, *in situ*, durante un período de 24 horas.

11. CRONOGRAMA

Tabla III. Cronograma de actividades

Actividad	Mes 1				Mes 2				Mes 3			
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
Fase 1: Revisión de literatura.	■	■										
Fase 2: Gestión, recolección de la información y diagnóstico.			■	■	■	■						
Fase 3: Análisis de información.							■	■				
Fase 4: Interpretación de información.							■	■				
Fase 5: Diseño del programa (propuesta).									■	■	■	■

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizará con recursos propios del estudiante de maestría en gestión industrial. Siendo la investigación descriptiva se tendrán en cuenta los siguientes recursos.

Tabla IV. **Recursos necesarios para la investigación**

Recurso	Costo
Materiales consumibles	Q. 1,000.00
Movilización	Q. 1,000.00
Análisis de laboratorio	Q. 3,500.00
TOTAL	Q. 5,500.00

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Siendo los recursos aportados suficientes para la investigación, se considera que es factible la realización del estudio.

13. REFERENCIAS

1. Aguilar, M. (2015). *Estudio de la eficiencia energética y de combustión de una caldera utilizada en una planta de fabricación de alimentos y propuesta para incrementar la eficiencia de operación* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/31111/1/Marvin%20Antonio%20Aguilar%20Tucubal.pdf>.
2. Asociación de azucareros de Guatemala. (4 de agosto, 2021). ASAZGUA. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://www.azucar.com.gt/fundazucar/>.
3. Cañizales, L. (2003). *Estudio de las emisiones contaminantes asociadas a la Empresa Azucarera Melanio Hernández y su influencia en las enfermedades respiratorias de la comunidad de Tuinucú* (Tesis de maestría). Universidad Central Martha Abreu, Cuba. Recuperado de <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/3616/Luis%20E.%20Ca%c3%b1izares%20Valdivia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
4. Cardona, C., Sánchez, Ó., Montoya, M. I., y Quintero, J. A. (enero, 2005). Simulación de los procesos de obtención de etanol a partir de caña de azúcar y maíz. *Scientia et technica*, 2(28), 187-192.
5. Contreras, A. (2010). *Impactos ambientales de la producción de agrocombustibles derivados de la caña de azúcar (Saccharum*

officinarum) en los departamentos de Suchitepéquez y Escuintla. (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

6. Decreto número 68-86. Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente. Diario de Centroamérica. Guatemala. 28 de noviembre de 1986.
7. Escobar, A. (2016). *Efectos de la exposición al humo de biomasa en la tasa del flujo respiratorio máximo (peak flow) y el volumen respiratorio forzado dentro del primer segundo (VEF1) en niños de 6 a 12 años del caserío Tamax, Cahabón, Alta Verapaz.* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
8. Estrada, J. (2014). *Diseño del sistema para reemplazar el quemador diésel por uno de gas la, de la caldera de 600bhp en la empresa ADSA* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
9. García, M. y Suárez, M. (abril, 2013). El método Delphi para la consulta a expertos en la investigación científica. *Revista Cubana de Salud Pública*, 39(2), 253-267.
10. Ibañez, C. (2012). *Propuesta de mejoras para la actividad de los hornos y calderas de una refinería para reducir el impacto ambiental generado, estableciendo pautas para la implementación de un sistema de gestión ambiental* (Tesis de licenciatura). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú.

11. Mercado, N., Puerta, E. y Pérez, H. (julio, 2017). Aplicación del método Delphi para establecer un modelo conceptual de estimación de costos de software. *Espacio*, 12-23.
12. Mesa, L., González, E., Gonzáles, M. y Agüero, G. (2005). La producción de etanol, alternativas de materias primas. *Revista cubana de química*, XVII(1), 129-137.
13. Meza, L., Quintero, M., García, R. y Ramírez, J. (noviembre, 2009). Estimación de factores de emisión de PM10 y PM2.5, en vías urbanas en Mexicali, Baja California, México. *Información tecnológica*, 21(4), 45-56.
14. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (2021). *Boletín de la semana epidemiológica SEMEPI No. 3*. Guatemala: Autor.
15. Monje, C. A. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa. Guía didáctica*. Colombia: Universidad Surcolombiana.
16. Montenegro, S. (2014). *Diseño de investigación de la mejora en la eficiencia energética de la caldera del laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad de San Carlos de Guatemala, mediante el aprovechamiento de los gases de combustión* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
17. Organización Mundial de la Salud. (2005). *Guías de aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Ginebra: Autor.

18. Ortíz, F. G. (2003). *Diccionario de metodología de la investigación científica*. México: Limusa.
19. Rodríguez, L. (2007). *Probabilidad y estadística básica para ingenieros*. Guayaquil, Colombia: Instituto de Ciencias Matemáticas.
20. Rodríguez, W. (2011). *Guía de investigación científica*. Lima: Fondo editorial UCH.
21. Sampieri, R., Fernández, C., y Baptista, M. d. (2010). *Metodología de la investigación*. México: McGrawHill.
22. Santiesteban, E. (2014). *Metodología de la investigación científica*. Cuba: EDACUN.
23. Sierra, R. (1997). *Técnicas de investigación social. Teoría y ejercicios*. Madrid, España: Thomson.
24. Valle, F. (2003). *Documentación de procedimientos y operación de procesos de una caldera acuotubular de 225,000 lb-vapor/hr en un ingenio azucarero (Ingenio Magdalena, S.A)* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
25. Vignale, V. (19 de marzo, 2021). Rentabilidad sostenible = estado mental positivo. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://gestion.pe/blog/cafeinaparaturcarrera/2014/02/rentabilidad-sostenible-estado-mental-positivo-i.html/#:~:text=La%20rentabilidad%20sostenida%20es%20proporcional%20al%20estado%20mental%20positivo%20de%20la%20empresa>.