



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

**ESTUDIO DEL RENDIMIENTO DE UN INCINERADOR PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL USO
DE RECURSOS EN UNA INDUSTRIA DE AGROQUÍMICOS**

Irene Monterroso Rodríguez

Asesorado por la Inga. Priscila Guadalupe Muñoz Monzón

Guatemala, noviembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DEL RENDIMIENTO DE UN INCINERADOR PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL USO
DE RECURSOS EN UNA INDUSTRIA DE AGROQUÍMICOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

IRENE MONTERROSO RODRÍGUEZ

ASESORADO POR LA INGA. PRISCILA GUADALUPE MUÑOZ MONZÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2019

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. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
EXAMINADOR	Ing. César Alfonso García Guerra
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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:

**ESTUDIO DEL RENDIMIENTO DE UN INCINERADOR PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL USO
DE RECURSOS EN UNA INDUSTRIA DE AGROQUÍMICOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 19 de mayo de 2016.



Irene Monterroso Rodríguez

Guatemala, enero 2018

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
Director de Escuela de Ingeniería Química
Presente

Reciba un cordial saludo y que sus actividades se realicen en forma satisfactoria.

Por medio de la presente, le comunico que he trabajado con la estudiante: Irene Monterroso, carné: 201122997 y CUI:2122709150101, y apruebo en calidad de asesora su Informe Final de EPS titulado "ESTUDIO DEL RENDIMIENTO DE UN INCINERADOR PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL USO DE RECURSOS, EN UNA INDUSTRIA DE AGROQUÍMICOS". Hablando revisado el informe final, considero que puede seguir con los trámites conducentes a la defensa, con la salvedad que dadas las características de la terna, podría tener modificaciones en alguna de sus partes al realizar la presentación, todo en áreas de la mejora del mismo.

Sin otro particular, agradeciendo su atención a la presente, me despido.

Atentamente,



Priscila G. Muñoz Monzón
Ing. Química
Colegiado 1565

Inga. Priscila Guadalupe Muñoz Monzón
Asesora trabajo de graduación



Guatemala, 07 de marzo de 2019.
Ref. EIQ.TG-IF.011.2019.

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **048-2016** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
-Modalidad Ejercicio Profesional Supervisado con Seminario de Investigación-
-6 meses-

Solicitado por la estudiante universitaria: **Irene Monterroso Rodríguez**.
Identificada con número de carné: **2122 70915 0101**.
Identificada con registro académico: **2011-22997**.
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

ESTUDIO DEL RENDIMIENTO DE UN INCINERADOR PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL USO DE RECURSOS, EN UNA INDUSTRIA DE AGROQUÍMICOS

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **Priscila Guadalupe Muñoz Monzón**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAN A TODOS"



Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Guatemala, 13 de octubre de 2017.
Ref.EPS.D.407.10.17.

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Wong Davi.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"ESTUDIO DEL RENDIMIENTO DE UN INCINERADOR PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL USO DE RECURSOS, EN UNA INDUSTRIA DE AGROQUIMICOS"** que fue desarrollado por la estudiante universitaria Irene Monterroso Rodríguez, quien fue debidamente asesorada y supervisada por el Ingeniero Sergio Alejandro Recinos.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS

CdRCdP/ra





Ref.EIQ.TG.067.2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Ejercicio Profesional Supervisado (**EPS final**) de la **carrera de Ingeniería Química** de la estudiante **IRENE MONTERROSO RODRÍGUEZ** titulado: **"ESTUDIO DEL RENDIMIENTO DE UN INCINERADOR PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL USO DE RECURSOS EN UNA INDUSTRIA DE AGROQUÍMICOS"** Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Williams G. Alvarez Mejía; M.I.Q., M.U.I.E.
Director
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, noviembre de 2019

Cc: Archivo
WGAM/ale



DTG.530.2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTUDIO DEL RENDIMIENTO DE UN INCINERADOR PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL USO DE RECURSOS EN UNA INDUSTRIA DE AGROQUÍMICOS**, presentado por la estudiante universitaria: **Irene Monterroso Rodríguez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, noviembre de 2019

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por guiar mi camino con amor y darme fuerzas cuando las creía perdidas.
Mis padres	Ivonne Rodríguez y Ricardo Monterroso, por su ejemplo, apoyo y amor incondicional.
Mi hijo	Rodrigo García, por ser mi fuerza y mi motor.
Mis hermanos	Rocío y Diego Monterroso, por compartir conmigo alegrías, tristezas y enojos. Por estar siempre dispuestos a apoyarme con acciones, una palabra de ánimo o un consejo.
Mi abuela	Por su cariño y compañía.
Mis tíos y tía	Por su disposición y ayuda.
Amigas	Nátaly Molina, Ana Isabel Fion, Maria José Aguilar, Silvia Méndez y Pamela Ortiz, por acompañarme y creer en mí siempre.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme las herramientas para desarrollarme como profesional.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los conocimientos y prepararme con criterio.
Inga. Priscila Muñoz	Por su acompañamiento y apoyo brindado durante el proceso del presente trabajo de graduación.
Christian García y familia	Por su apoyo y compañía a lo largo de mi carrera en la universidad.
Julia Marroquín y familia	Por su ayuda durante mis años de estudio.
Mis amigos de la Facultad	Ligia Fletes, Noemí Hernández, Luis Chen y Cecilia Vaquero, por compartir esfuerzos y recorrer conmigo este camino.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IIII
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	IX
OBJETIVOS.....	XI
HIPÓTESIS	XII
INTRODUCCIÓN	XIII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Incineración de residuos.....	3
2.2. Clasificación de incineradoras según su sector.....	4
2.3. Descripción del proceso	5
2.4. Recuperación de energía	7
2.5. Efectos en el ambiente y en la salud	7
2.5.1. Emisiones aéreas	8
2.5.2. Evacuación de rechazos.....	8
2.5.3. Emisiones líquidas.....	9
3. DISEÑO METODOLÓGICO	11
3.1. Variables.....	11
3.2. Delimitación del campo de estudio	11
3.3. Recursos humanos disponibles.....	12
3.4. Recursos materiales disponibles	13
3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa	13
3.6. Recolección y ordenamiento de la información	14

3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	14
3.7.1.	Tabulación.....	14
3.7.2.	Procesamiento	15
3.7.2.1.	Cantidad de keroseno quemado	15
3.7.2.2.	Tiempo (horas trabajadas)	15
3.7.2.3.	Porcentaje de plástico	15
3.7.2.4.	Porcentaje de cartón	16
3.7.2.5.	Total de desechos	16
3.7.2.6.	Rendimiento del incinerador.....	16
3.8.	Análisis estadístico.....	17
3.8.1.	Análisis de varianza (ANOVA), diseño completamente aleatorizado, desigualdad de observaciones	17
3.8.1.1.	Cálculo de suma de cuadrados	17
4.	RESULTADOS.....	19
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	25
6.	LOGROS OBTENIDOS.....	29
	CONCLUSIONES.....	31
	RECOMENDACIONES	33
	BIBLIOGRAFÍA.....	35
	APÉNDICES.....	37
	ANEXOS.....	43

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Operaciones del proceso de incineración	5
2.	Diagrama de flujo del proceso de incineración.....	7
3.	Proporción en peso de cartón alimentado por día en el mes de abril de 2016.....	19
4.	Keroseno quemado en función del porcentaje de cartón quemado	20
5.	Rendimiento en función del porcentaje de cartón quemado	22

TABLAS

I.	Clasificación de variables.....	11
II.	Descripción de recursos materiales disponibles	13
III.	Proporción de cartón y plástico promedio alimentada en el mes de abril de 2016	19
IV.	Ajuste cuadrático y punto mínimo de keroseno quemado.....	20
V.	Rendimiento del incinerador de abril a agosto de 2016	21
VI.	Ajuste cuadrático y punto máximo de rendimiento del incinerador	22
VII.	Resultados del análisis estadístico ANOVA.....	23

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
S²	Cuadrado medio del error
S²₁	Cuadrado medio del tratamiento
h_f	Hora de fin o paro (adimensional)
h₀	Hora de inicio o arranque (adimensional)
h_t	Horas trabajadas (hora)
kg	Kilogramo
m_c	Masa de cartón quemado (kg)
mk_f	Masa de keroseno final (kg)
mk₀	Masa de keroseno inicial (kg)
mk_q	Masa de keroseno quemado (kg)
m_p	Masa de plástico quemado (kg)
m_i	Masa de total de desecho quemado (kg)
M_T	Masa de total de desechos quemados (kg)
k	Número de tratamientos
N	Número total de observaciones
% de cartón	Porcentaje de cartón (%)
% de plástico	Porcentaje de plástico (%)
R	Rendimiento del incinerador (kg/h)
j	Subíndice para bloques
i	Subíndice para tratamientos
T..	Total general

GLOSARIO

Agroquímico	Solución química muy utilizada en la agricultura, cuyo objetivo principal es mantener y conservar los cultivos.
ANOVA	Análisis de varianza, por sus siglas en inglés. Método de modelado lineal para evaluar la relación entre medias de dos o más poblaciones.
Bioinfeccioso	Material que puede contener agentes biológicos infecciosos, en otras palabras que contenga cualquier organismo que sea capaz de producir una enfermedad.
Depuración	Eliminación de la suciedad, impurezas o sustancias nocivas de una cosa.
Dioxina	Compuesto químico orgánico muy tóxico.
Furano	Compuesto orgánico, líquido, incoloro, altamente inflamable y muy volátil. Es tóxico y puede ser cancerígeno.
Gas de combustión	Gas que sale a la atmósfera a través del conducto de un sistema de combustión.

Heterogéneo	Que está formado por elementos de distinta clase o naturaleza.
Keroseno	Líquido inflamable, compuesto de hidrocarburos, que se obtiene por destilación del petróleo natural. Se emplea principalmente como combustible.
Material particulado	Compleja mezcla de partículas suspendidas en el aire que varían de tamaño y composición dependiendo de sus fuentes de emisiones.
Optimización	Método para determinar los valores de las variables que intervienen en un proceso o sistema para que el resultado sea el mejor posible.
QHSE	Calidad, Salud, Seguridad y Ambiente (por sus siglas en inglés).
Rendimiento	Fruto o utilidad de una cosa en relación con lo que cuesta.
SSA	Suma de cuadrados de tratamientos (por sus siglas en inglés).
SSE	Suma de cuadrados del error (por sus siglas en inglés).
SST	Suma de cuadrados totales (por sus siglas en inglés).

RESUMEN

La planta en la que se realizó el estudio se dedica a la formulación y envasado de agroquímicos y cuenta con un incinerador para disponer de manera adecuada de desechos sólidos y líquidos contaminados, así como material de empaque rechazado. Los costos implicados son altos y la operación no genera ninguna ganancia.

El objetivo del proyecto de investigación propuesto es realizar un estudio del rendimiento del incinerador en función de la proporción de cartón/plástico alimentado, para la optimización del uso de recursos en la empresa descrita anteriormente.

Inicialmente se estableció una línea base de acuerdo a los desechos producidos dentro de la planta y su incineración durante un mes de trabajo. Durante los meses de abril a agosto se realizaron mediciones de cantidad de desechos sólidos alimentados, keroseno quemado y horas trabajadas. Luego se analizaron los datos graficando la cantidad de keroseno quemado y rendimiento en función del porcentaje de cartón. Así mismo se analizó la variación del rendimiento y en función de las proporciones de desechos sólidos alimentados por medio de análisis estadístico.

El porcentaje de cartón que disminuye el tiempo de incineración e incrementa el rendimiento es de 40,1%, sin embargo, según el análisis estadístico, las proporciones de cartón y plástico alimentados no influyen significativamente en el rendimiento, por lo cual se propone complementar el estudio tomando en cuenta los desechos líquidos alimentados.

OBJETIVOS

General

Realizar un estudio sobre el rendimiento de un incinerador para la optimización del uso de recursos en una industria de agroquímicos.

Específicos

1. Determinar la proporción de cartón y plástico promedio alimentada al incinerador diariamente en condiciones normales de operación.
2. Establecer las proporciones de cartón y plástico que optimicen el uso de keroseno en el proceso de incineración.
3. Calcular el rendimiento del incinerador relacionando el total de desechos quemados por hora en función de la relación de proporciones de plástico y cartón alimentadas.
4. Establecer las proporciones de cartón y plástico que disminuyan el tiempo de incineración.
5. Comprobar la variación del rendimiento del incinerador en función de la cantidad porcentual de cartón alimentada por medio de análisis estadístico.

Hipótesis

El rendimiento del incinerador de desechos sólidos y líquidos sobre el cual se realizó el estudio depende de las proporciones de cartón y plástico alimentadas al mismo.

- Hipótesis nula (H_0):

No existe diferencia significativa en el rendimiento del incinerador cuando se varía la cantidad porcentual de cartón y plástico alimentado.

- Hipótesis alternativa (H_a):

Existe diferencia significativa en el rendimiento del incinerador cuando se varía la cantidad porcentual de cartón y plástico alimentado.

INTRODUCCIÓN

La incineración de residuos es ampliamente utilizada principalmente para tratar residuos peligrosos, contaminados con productos químicos o bien desechos bioinfecciosos.

La combustión de desechos sólidos permite una disminución en su volumen, sin embargo, cuando se trata de desechos contaminados deben implementarse sistemas de tratamiento de efluentes gaseosos, sólidos (ceniza) y líquidos (si los hubiera); y estos involucran costos, muchas veces más altos que el mismo proceso de incineración.

La industria de agroquímicos utiliza como materia prima distintos productos químicos, tóxicos para la salud humana y el medio ambiente.

En Guatemala no existe una legislación que obligue a las empresas a disponer de sus desechos adecuadamente, sin embargo, existen empresas comprometidas con el medio ambiente, que hacen todo lo posible por no contaminar los mantos freáticos, el suelo y el aire.

En la planta en la que se realizó el estudio se cuenta con un incinerador para quemar desechos contaminados con productos químicos y destruir envases rechazados, esto supone una inversión importante en equipo, mano de obra, tiempo y combustible, sin ningún tipo de ganancia, pues no se utiliza la energía contenida en los gases de chimenea.

Los procedimientos de alimentación de desechos (previamente establecidos en el método de trabajo) son ejecutados por los operadores. Por medio del estudio del rendimiento del incinerador se establecen las proporciones de material de desecho que optimizan el proceso para reducir la cantidad de recursos invertidos por la empresa, dejando a un lado el tipo de combustible (se utiliza keroseno) y que no se aprovecha la energía contenida en los gases de chimenea.

1. ANTECEDENTES

La planta en la que se realizó el estudio está ubicada en el km 29,5 carretera CA-9 sur, en el municipio de Amatitlán, y se dedica a la producción de agroquímicos de uso en toda Centroamérica y El Caribe.

Para el manejo de desechos se cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, así como con un incinerador para disponer de desechos líquidos y sólidos contaminados.

El incinerador cuenta con dos cámaras de combustión y un lavador de gases, se utiliza keroseno como combustible y es operado por dos personas. La planta incinera sus desechos como parte de su compromiso con el medio ambiente, siguiendo procedimientos ya establecidos.

Para que el equipo funcione adecuadamente la proporción de desechos compuestos principalmente de cartón y papel debe ser mayor a aquellos compuestos principalmente de plástico. Por varios años se ha trabajado con una relación sugerida por el manual de usuario del equipo, por lo cual se busca comprobar si dicha proporción asegura el uso óptimo del combustible en el proceso.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Incineración de residuos

La incineración de residuos es la oxidación de las materias combustibles contenidas en el residuo. Los residuos son por lo general materiales altamente heterogéneos, consistentes esencialmente en sustancias orgánicas, minerales, metales y agua. Durante la incineración se crean gases de combustión que contienen la mayoría de la energía de combustión disponible en forma de calor. Las sustancias orgánicas de los residuos se queman al alcanzar la temperatura de ignición necesaria y entrar en contacto con oxígeno. El proceso de combustión en sí se produce en la fase gaseosa en fracciones de segundo y libera energía de forma simultánea. Cuando el poder calorífico del residuo y el suministro de oxígeno es suficiente, esto puede producir una reacción térmica en cadena y combustión autoalimentada, es decir, que no requiere la adición de otros combustibles.

Un horno incinerador de residuos sólidos puede operar con dos tipos de combustible: residuos en masa no seleccionados (o en bruto) y residuos procesados (combustible derivado de residuos, CDR). El sistema de incineración de combustión en bruto es una tecnología ampliamente escogida; está diseñado con un mecanismo de parrillas en el que se puede tratar cualquier tipo de material dentro del flujo de residuos, incluyendo objetos voluminosos, no combustibles o peligrosos, por lo que el contenido energético de los residuos quemados en bruto puede ser extremadamente variable. Los sistemas de incineración alimentados por CDR utilizan un mecanismo de parrilla móvil, logran ser de calidad porque el combustible puede cumplir con especificaciones de energía, humedad y de

contenido de cenizas, y pueden controlar la combustión y la contaminación aérea, dada la naturaleza homogénea del CDR. El combustible derivado de los residuos se presenta en forma triturada (fibras) o en *pellets* y, aunque es fácil de transportar y almacenar, su producción es costosa.

2.2. Clasificación de incineradoras según su sector

Aunque los enfoques varían mucho, el sector de incineración puede dividirse aproximadamente en los siguiente subsectores principales:

- Incineración de residuos urbanos mixtos: normalmente tratan basuras y residuos domésticos mixtos y generalmente sin tratar, pero en ocasiones pueden incluirse ciertos residuos industriales y comerciales (los residuos industriales y comerciales se incineran también por separado en incineradores específicos de residuos no peligrosos industriales o comerciales).
- Incineración de residuos urbanos u otros residuos pretratados: instalaciones que tratan residuos que han sido selectivamente recogidos, pretratados o preparados en algún modo, de modo que las características de los residuos difieren de los residuos mixtos. En este subsector se incluyen las incineradoras de la fracción de residuos no reciclables.
- Incineración de residuos peligrosos: incluye la incineración en plantas industriales y la incineración en plantas comerciales (que normalmente reciben una amplia variedad de residuos).
- Incineración de lodos de depuradora: en algunos lugares, los lodos de depuradora se incineran separadamente de otros residuos en instalaciones específicas, en otros dichos residuos se combinan con otros más (ej. residuos urbanos) para su incineración.

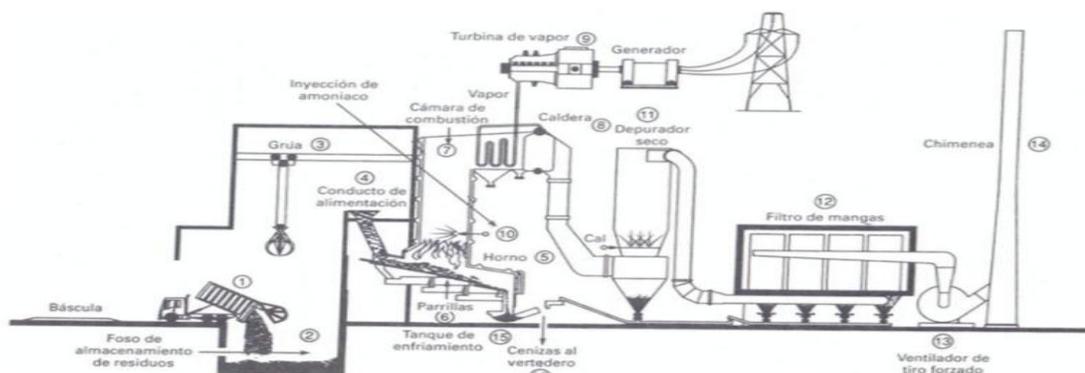
- Incineración de residuos clínicos: existen instalaciones específicas para el tratamiento de residuos clínicos, normalmente los procedentes de hospitales y otras instalaciones sanitarias, en forma de instalaciones centralizadas o en las dependencias de los distintos hospitales, etc. En algunos casos, determinados residuos clínicos se tratan en otras instalaciones, por ejemplo, con residuos urbanos mixtos o residuos peligrosos.

El incinerador de la planta en la que se realizó el estudio tiene una capacidad teórica de 50 kg de desechos sólidos por hora y el proceso se clasifica como incineración de residuos peligrosos.

2.3. Descripción del proceso

Las operaciones básicas involucradas en la incineración de residuos sólidos se muestran en la siguiente figura:

Figura 1. Operaciones del proceso de incineración

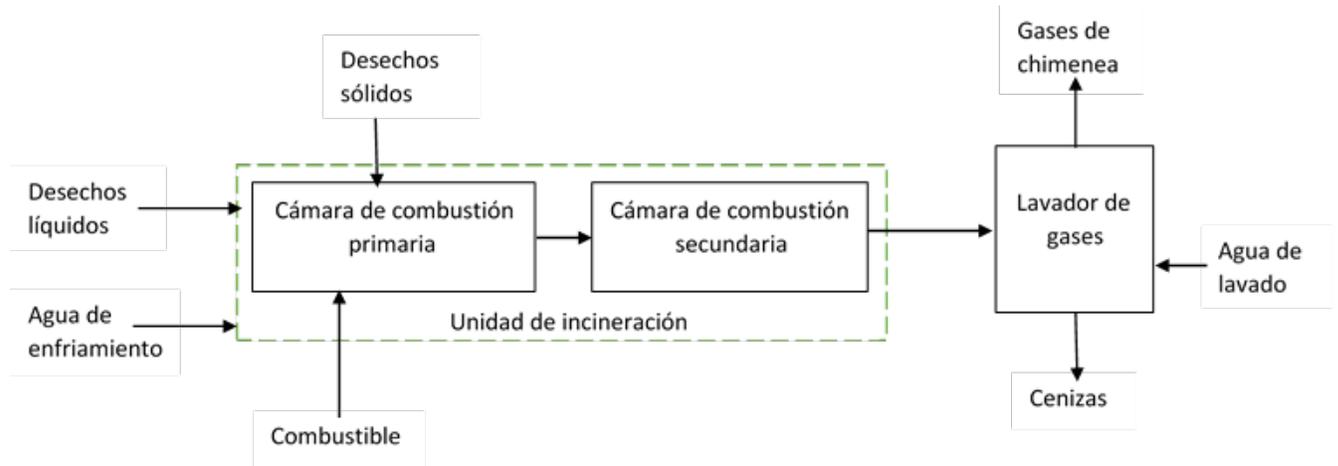


Fuente: TCHOBANOGLIOUS, G. *Gestión integral de los residuos sólidos*. p. 333.

- Entrada, pesado y descargue de residuos en fosa de almacenamiento.

- Selección de residuos para la introducción en el horno a través de la tolva o conducto de alimentación.
- Caída del material a incinerar sobre parrillas o sobre un lecho fluidizante.
- Control de la incineración y la temperatura del horno con flujos de aire y suministro de oxígeno; se puede utilizar un ventilador de tiro inducido.
- Incineración de residuos en cámaras de combustión (en la figura, horno) y de postcombustión (en la figura, cámara de combustión). La temperatura mínima del horno es de 850°C (combustión óptima en el horno: 980°C) y en la cámara de combustión secundaria (postcombustión) a más de 1200°C para evitar olores, generación de dioxinas, furanos, material particulado y gases de combustión.
- Recuperación de calor de gases calientes para la conversión del calor en electricidad. Se utiliza tubos con agua en las paredes de la cámara de postcombustión, una caldera que produce vapor y un generador de turbina que lo transforma en electricidad.
- Control de la contaminación del aire. Puede utilizarse amoníaco para óxidos de nitrógeno, una depuradora seca para azufre y gases ácidos, y un filtro de mangas para material particulado.
- Emisión de gases a través de una chimenea, tratamiento de cenizas (neutralización y/o encapsulamiento de los materiales provenientes de la combustión de los residuos), de cenizas volantes (provenientes del filtro de mangas) y rechazos no quemados.

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de incineración en la planta donde se realizó el estudio



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

2.4. Recuperación de energía

En plantas de recuperación de calor se puede recuperar la energía térmica liberada por la combustión de residuos, procedente de los gases calientes de dicha combustión. Entre los diferentes usos de esta energía están las producciones de energía eléctrica, de agua caliente sanitaria y de vapor para la industria.

2.5. Efectos en el ambiente y en la salud

Aunque muchas plantas de incineración cumplen con los requisitos más estrictos, aún continúa la preocupación por el control de la contaminación que originan las emisiones atmosféricas y sus potenciales efectos en el ambiente y en la salud pública.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) publicó en 2005 las *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*, que ofrecen orientación general relativa a umbrales y límites para contaminantes atmosféricos. Las directrices se aplican a todo el mundo y se basan en la evaluación realizada por expertos, de las pruebas científicas relacionadas a partículas, ozono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre.

En Guatemala existe la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (Decreto 68-86 del Congreso de la República), en la cual se establece el marco general para la protección ambiental.

2.5.1. Emisiones aéreas

La operación de plantas de incineración provoca la producción de diversas emisiones gaseosas y partículas. La capacidad de las instalaciones y el equipamiento de la planta de incineración para controlar eficazmente las emisiones gaseosas y en partículas son fundamentales. En algunos casos, el costo y la complejidad de los sistemas de control ambiental son iguales o incluso mayores que el coste de la planta de incineración.

2.5.2. Evacuación de rechazos

Las plantas de incineración producen varios residuos sólidos, incluyendo: cenizas de fondo, cenizas volantes y productos de depuración.

2.5.3. Emisiones líquidas

Las emisiones líquidas procedentes de las plantas de incineración pueden surgir de una o más de las siguientes fuentes: aguas residuales de instalaciones para separación de cenizas, efluente procedente de depuración vía húmeda, aguas residuales de sellado de bombas, de limpieza, de baldeo y de actividades de mantenimiento en general, aguas residuales procedentes de los sistemas de tratamiento utilizados para producir agua de caldera de alta calidad y purgas de torres de refrigeración.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Tabla I. Clasificación de variables

Variable	Independiente	Dependiente
Porcentaje de cartón	X	
Porcentaje de plástico	X	
Keroseno quemado (kg)		X
Tiempo (horas)		X
Total de desechos quemados (kg)		X
Rendimiento (kg/h)		X

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

La incineración de desechos en la planta en la que se realizará el estudio incluye: cartón y plástico contaminados, envases y etiquetas rechazados que pueden ser de papel o plástico y otros desechos como equipo de protección personal contaminado y aguas de lavado.

Se harán mediciones de las cantidades de desechos alimentados por medio de relaciones empíricas de proporciones de plástico y cartón (de acuerdo a los flujos de desechos de la planta), en función del combustible quemado y del

tiempo y cantidad total de desechos quemados por hora. Las mediciones para establecer la línea base se realizarán durante el mes de abril, mes establecido por la dirección de la planta para iniciar con el estudio.

3.3. Recursos humanos disponibles

Se cuenta con la colaboración de los operarios capacitados para el manejo y control del incinerador, personal de mantenimiento, coordinadora de QHSE, jefe de QHSE, el investigador y el asesor:

- Jefe de QHSE: Lic. Guillermo Álvarez
- Asesora técnica y coordinadora de QHSE: Inga. Priscila Muñoz
- Asesor docente: Ing. Alejandro Recinos
- Investigador: Irene Monterroso
- Operario 1 (encargado): Danilo Aroche
- Operario 2: Mynor Osoy

3.4. Recursos materiales disponibles

En la siguiente tabla se describen los recursos materiales disponibles para el estudio.

Tabla II. Descripción de recursos materiales disponibles

Recurso	Descripción
Equipo	Incinerador
Herramientas de medición	Balanza electrónica
Insumos de oficina	Computadora
	Impresora
	Hojas
	Cuaderno
	Instrumentos de escritura
Equipo de protección personal	Overol
	Casco
	Botas punta de acero
	Mascarilla para polvo
	Lentes de seguridad
	Tapones de oído
	Guantes antiabrasivos

Fuente: elaboración propia.

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

- Técnica cuantitativa

Análisis estadístico ANOVA, para establecer la variación del rendimiento por mes.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Se determinó el rendimiento del incinerador por medio del cálculo de la relación de desechos alimentados que optimizan el uso de recursos del mismo.

- Paso 1: recopilar datos de lectura de keroseno y cantidades de desechos de plástico y cartón alimentados al incinerador registrados por los operarios durante un mes de trabajo. A partir de dichas lecturas se debe obtener el valor empírico de la relación cartón/plástico utilizado.
- Paso 2: tomar datos de lectura de keroseno y cantidades de desechos alimentados diariamente, variando las proporciones alrededor del valor promedio obtenido anteriormente.
- Paso 3: realizar un análisis de los datos obtenidos, graficando la cantidad de keroseno quemado y el tiempo en función de los porcentajes de cartón y plástico para determinar la relación plástico/cartón que optimice el uso de recursos en la incineración de desechos.
- Paso 4: obtener el rendimiento con base en variaciones de la relación plástico/cartón y compararlos por medio de análisis estadístico ANOVA.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

A continuación, se describe el procesamiento de los datos obtenidos.

3.7.1. Tabulación

Las tablas se encuentran en el apéndice.

3.7.2. Procesamiento

A continuación se describen las fórmulas utilizadas para procesar los datos obtenidos.

3.7.2.1. Cantidad de keroseno quemado

$$mk_f - mk_0 = mk_q$$

Donde:

mk_f = masa de keroseno final (kg)

mk_0 = masa de keroseno inicial (kg)

mk_q = masa de keroseno quemado (kg)

3.7.2.2. Tiempo (horas trabajadas)

$$(h_f - h_0) * 24 = h_t$$

Donde:

h_0 = hora de inicio o arranque (adimensional)

h_f = hora de fin o paro (adimensional)

h_t = horas trabajadas (hora)

3.7.2.3. Porcentaje de plástico

$$\% \text{plástico} = \frac{m_p}{m_p + m_c} * 100$$

3.7.2.4. Porcentaje de cartón

$$\% \text{ cartón} = \frac{m_c}{m_p + m_c} * 100$$

Donde:

m_p = masa de plástico quemada (kg)

m_c = masa de cartón quemada (kg)

3.7.2.5. Total de desechos

$$M_T = \sum_n^i m_i$$

Donde

M_T = masa de total de desechos quemados (kg)

m_i = masa de total del desecho quemados (kg)

3.7.2.6. Rendimiento del incinerador

$$R = M_T/h_t$$

Donde

M_T = masa de total de desechos quemados (kg)

h_t = horas trabajadas (hora)

R = rendimiento del incinerador (kg/h)

3.8. Análisis estadístico

A continuación se describen las fórmulas utilizadas para realizar el análisis estadístico de los datos.

3.8.1. Análisis de varianza (ANOVA)

Se utilizó análisis de varianza (ANOVA) diseño completamente aleatorizado con desigualdad de observaciones.

3.8.1.1. Cálculo de suma de cuadrados

$$SST = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^n Y^2_{ij} - \frac{T^2}{N}$$

$$SSA = \frac{\sum_{i=1}^K T_i^2}{n} - \frac{T^2}{N}$$

$$SSE = SST - SSA$$

Tabla III. **Análisis de varianza**

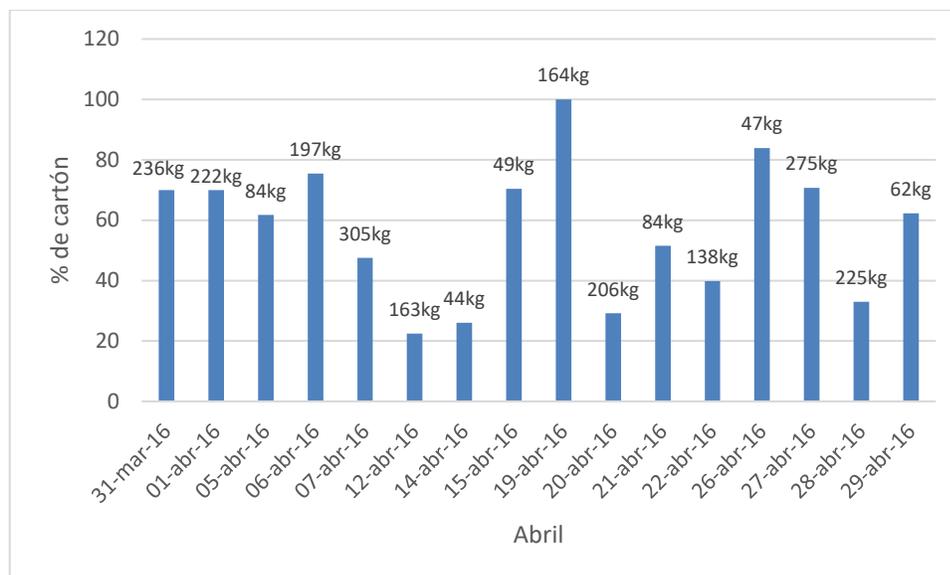
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Calculada
Tratamientos	SSA	k-1	$S_1^2 = \frac{SSA}{(k - 1)}$	$F = \frac{S_1^2}{S^2}$
Error	SSE	N-k	$S^2 = \frac{SSE}{(N - k)}$	
Total	SST	N-1		

Fuente: Anónimo. Estadística 2. *Formulario de estadística 2.*

4. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados del estudio.

Figura 3. **Proporción en peso de cartón alimentado por día en el mes de abril de 2016**



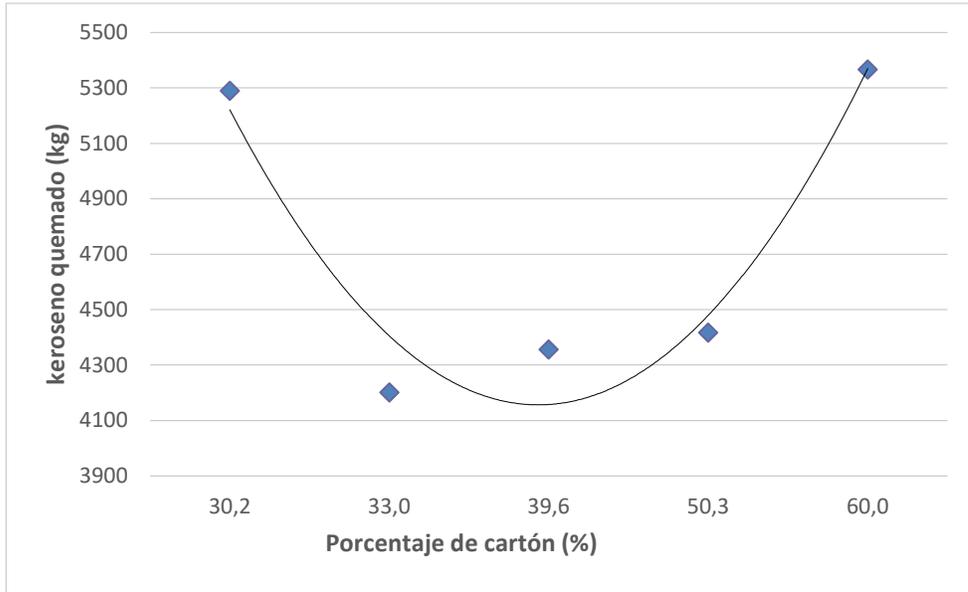
Fuente: elaboración propia, con base en los datos del apéndice 2.

Tabla IV. **Proporción en peso de cartón y plástico promedio alimentada en el mes de abril de 2016**

Período	% de plástico	% de cartón
31 de marzo al 29 de abril 2016	41.17	58.83

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Keroseno quemado en función del porcentaje en peso de cartón quemado**



Fuente: elaboración propia, con base en los datos de la tabla VI.

Tabla V. **Ajuste cuadrático y punto mínimo de keroseno quemado**

Ecuación	R ²	% de cartón (punto mínimo)
$4.60x^2 - 400x + 12873$	0.73	43.5

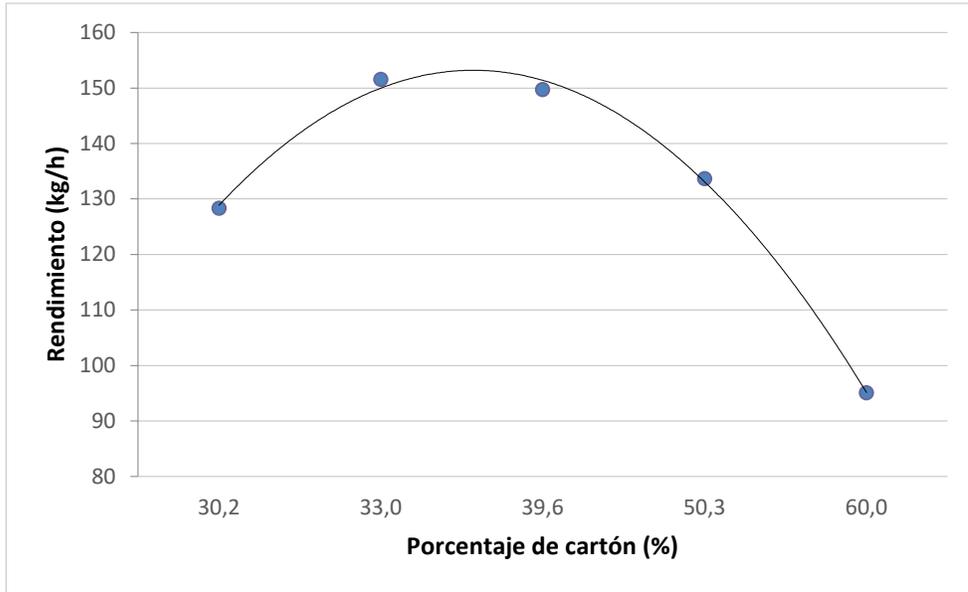
Fuente: elaboración propia, con base en los datos de la figura 4.

Tabla VI. Rendimiento del incinerador de abril a agosto de 2016

Mes	Porcentaje de carton (%)	Masa de keroseno m_{k_q} (kg)	Masa de cartón m_c (kg)	Masa de plástico m_p (kg)	Masa Total de desechos M_T (kg)	Horas trabajadas h_t (hora)	Rendimiento R (kg/h)
abril	60.0	5289.5	2468	1643	14267	150	95.11
mayo	30.2	4201.6	1645	3810	19510	152	128.36
junio	33.0	4356.3	1391	2823	16673	110	151.57
julio	39.6	4418	1796	2745	16771	112	149.74
agosto	50.3	5367.2	2181	2151	17448	130.5	133.70

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Rendimiento en función del porcentaje en peso de cartón quemado



Fuente: elaboración propia, con base en los datos de la tabla VI.

Tabla VII. Ajuste cuadrático y punto máximo de rendimiento del incinerador

Ecuación	R ²	Porcentaje de cartón (punto máximo)
$-0.15x^2 + 12.04x - 92.8$	0.93	40.1

Fuente: elaboración propia, con base en los datos de la figura 5.

Tabla VIII. **Resultados del análisis estadístico ANOVA para rendimiento**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F Calculada
% de cartón	3869.047353	4	967.2618381	0.819253315
Error	41323.1948	35	1180.662708	
Total	45192.24215	39		

Fuente: elaboración propia.

F= 2,64 para un 95% de probabilidad, obtenido de la tabla de valores críticos de Fisher, es mayor al calculado F=0,819, por lo tanto se acepta la hipótesis nula.

Tabla IX. **Resultados del análisis estadístico ANOVA para keroseno**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F Calculada
% de cartón	41793.63	4	10448.4075	0.49863763
Error	733386.821	35	20953.9092	
Total	775180.451	39		

Fuente: elaboración propia.

F= 2,64 para un 95% de probabilidad, obtenido de la tabla de valores críticos de Fisher, es mayor al calculado F=0,499, por lo tanto se acepta la hipótesis nula.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La media en el porcentaje de cartón alimentado en el mes de abril (mes establecido por la dirección de la planta para iniciar con el estudio) fue de 58,8%, equivalente a 273,22 kg de cartón en promedio. Se estableció este valor como línea base, sin embargo, se estableció como valor máximo de cartón que puede alimentarse debido a que la mayor parte de desechos producidos en la planta están constituidos por plástico. Alimentar una proporción mayor al 60 % de cartón retrasaría la incineración de los desechos, pues no se produce una cantidad suficiente para respetar dicho porcentaje y quemar todos los desechos plásticos.

Las cantidades de keroseno quemado del mes de abril al mes de agosto correlacionadas en función del porcentaje de cartón muestran una disminución del 30 al 40%, aproximadamente, y luego un aumento hasta el 60%. Los datos se ajustaron a una función cuadrática, cuyo punto mínimo fue de 43,5 % (porcentaje de cartón) con un ajuste de 0,73.

Con un aumento del 3% de mayo a junio, en mayo se quemaron 1087,9 kg de keroseno más que en junio, mientras que de junio a julio con un aumento de aproximadamente el 7% la cantidad de keroseno quemado aumentó solamente 154,7kg. Continuando con la misma tendencia de julio a agosto el aumento en 11% resultó en un incremento de 61,7kg de keroseno quemado.

Estos resultados están directamente relacionados no solamente al aumento en el porcentaje de cartón sino también a la cantidad de agua quemada. El agua que ingresa al horno permite que la temperatura se mantenga a niveles adecuados para que la combustión de los desechos sea completa, propiciando

la combustión en cadena y que no se tenga que esperar mucho tiempo para alimentar más desechos.

Durante los meses de abril y mayo la lanza que alimenta agua para incinerar no estaba funcionando de forma correcta, por tanto, en dichos meses las cantidades de keroseno quemado son las más altas.

Para conocer el porcentaje de cartón que disminuye el tiempo de incineración debe calcularse el rendimiento del mismo, este se obtuvo a partir de la suma de desechos quemados (sólidos y líquidos) dividida dentro del total de horas trabajadas en el mes. El rendimiento del incinerador durante los meses de abril a agosto varía de 95,11 a 151,57kg/h, este valor refleja la cantidad de desechos quemados por hora de trabajo, por lo tanto a mayor rendimiento mayor optimización de recursos.

La figura 5 muestra el rendimiento del incinerador de abril a agosto en función del porcentaje de cartón. Los datos se ajustaron a una función cuadrática cuyo punto máximo fue de 40,1 (porcentaje de cartón) con un ajuste de 0,93. Dicho valor representa las proporciones de desechos alimentadas que disminuyen el tiempo de incineración en función del total de desechos quemados. Estos incluyen cartón, plástico, agua contaminada y otros (que pueden ser productos, equipo de protección personal contaminado, uniformes, botas, entre otros).

El rendimiento y el tiempo de incineración, al igual que la cantidad de keroseno quemado, dependen, no solo de las proporciones de desechos sólidos alimentadas, sino también del agua contaminada que ingresa al horno, pues a medida que se logra mantener la temperatura en el horno, es posible alimentar desechos sólidos con intervalos de tiempo de espera más cortos, sin embargo,

el análisis de las cantidades de líquido incinerado queda fuera de los alcances de la presente investigación.

Finalmente, el resultado de F calculado ($F=0,819$) obtenido por medio del análisis estadístico es menor al valor F crítico obtenido de tablas, por tanto, no existe diferencia significativa en las medias de rendimiento en función del porcentaje de cartón alimentadas. El análisis se realizó con todos los datos obtenidos de abril a agosto, clasificándolos de acuerdo al porcentaje de cartón quemado.

El resultado del análisis estadístico muestra que las proporciones de desechos sólidos alimentados influyen parcialmente en el rendimiento, pues, como se mencionó anteriormente, la cantidad de agua contaminada que ingresa al horno tiene una influencia significativa que podría ser analizada de forma separada o junto a las proporciones de desechos sólidos, para obtener un análisis global con las variables directamente relacionadas al rendimiento del incinerador.

6. LOGROS OBTENIDOS

- 1) Se estableció la proporción mínima de plástico y máxima de cartón que puede alimentarse de acuerdo a los desechos producidos dentro de la planta.
- 2) Se determinó que las proporciones de cartón y plástico (desechos sólidos) alimentados no influyen significativamente en el rendimiento. Para obtener un resultado debe analizarse la cantidad de agua incinerada (desechos líquidos).
- 3) Se logró establecer procedimientos de medición que permiten un mejor control de los desechos sólidos alimentados al incinerador.

CONCLUSIONES

1. Las proporciones de cartón y plástico promedio alimentadas al incinerador durante un mes de trabajo fueron de 58,83 y 41,17 %, que corresponden a 273,22 y 182,56 kg, respectivamente. Se establecieron dichos valores como línea base del estudio, tomando en cuenta que no se puede disminuir el porcentaje de plástico debido a que constituyen la mayor parte de desechos sólidos producidos en la planta.
2. Las proporciones de cartón y plástico que optimizan el uso de keroseno son de 43,5 y 56,5 %, respectivamente, bajo las condiciones trabajadas durante el estudio. El uso de keroseno varía en función de las proporciones de desechos sólidos y líquidos alimentados.
3. El rendimiento del incinerador durante los meses de abril a agosto se mantuvo en un rango de 95,11 a 151,57kg/h. La cantidad de desechos quemados por hora de trabajo reflejó una variación en función de las proporciones de desechos sólidos alimentados.
4. Las proporciones de cartón y plástico que disminuyen el tiempo de incineración y, por tanto, aumentan el rendimiento del mismo, son de 40,1 y 59,9.5 %, respectivamente, bajo las condiciones trabajadas durante el estudio. El tiempo de incineración depende tanto de las proporciones de desechos sólidos alimentados como del agua que se incinera dentro del horno.

5. No existe diferencia significativa en las medias de rendimiento en función del porcentaje de cartón alimentadas, según el análisis estadístico.

RECOMENDACIONES

1. Clasificar los desechos sólidos con el objetivo de alimentarlos en una proporción 40/60 de cartón y plástico, para optimizar el uso del incinerador.
2. Realizar un estudio del rendimiento del incinerador en función de los desechos líquidos alimentados.
3. Realizar una investigación en sitio para establecer una propuesta de cambio de combustible por uno más económico.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ministerio de Ambiente y Medio Rural y Marino, Gobierno de España. *Mejores técnicas disponibles de referencia europea para Incineración de residuos*. Madrid, España: Sociedad Anónima de fotocomposición, 2011. 642p.
2. TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. *Gestión integral de residuos sólidos*. En: *Separación y procesamiento y transformación de residuos sólidos*. V.1. México: McGraw-Hill, 1998.604p.
3. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. *Introducción a la problemática y estudio del ambiente*. [en línea]. <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358012/ContLin/leccin_26_incineracin.html>. [Consulta: marzo 2019].

APÉNDICES

Apéndice 1. Horas trabajadas y uso de keroseno

Fecha	Lectura de Kerosina (kg)		Horas	
	Inicio	Fin	Inicio	Fin
31-Mar-16	312872.8	312872.8	7:00	15:30
1-Apr-16	312872.8	313483.3	6:30	14:00
5-Apr-16	313483.3	313483.3	6:30	15:30
6-Apr-16	313483.3	313483.3	6:30	15:30
7-Apr-16	313483.3	314073.6	8:00	15:30
8-Apr-16	314073.6	314073.6	7:00	14:00
12-Apr-16	314073.6	314678.9	7:00	15:30
14-Apr-16	314678.9	314678.9	6:30	15:00
15-Apr-16	314678.9	315279.8	6:30	14:00
19-Apr-16	315279.8	315279.8	6:30	15:30
20-Apr-16	315279.8	315879.8	6:30	15:30
21-Apr-16	315879.8	316478.8	6:30	15:30
22-Apr-16	316478.8	316478.8	6:30	14:00
26-Apr-16	316478.8	317080.8	6:30	17:30
27-Apr-16	317080.8	317080.8	6:30	17:30
28-Apr-16	317080.8	317675.7	6:30	17:30
29-Apr-16	317675.7	318240	6:30	16:00
4-May-16	318240	318240	6:30	17:30
5-May-16	318240	318831.8	6:30	17:30
6-May-16	318831.8	319244.2	6:30	16:00
10-May-16	319244.2	319888.8	6:30	17:30
11-May-16	319888.8	319888.8	6:30	17:30
12-May-16	319888.8	320493.8	6:30	17:30
13-May-16	320493.8	321104.8	6:30	16:00
17-May-16	321104.8	321104.8	10:00	17:30
18-May-16	321104.8	321713	6:30	17:30

Continuación apéndice 1.

Fecha	Lectura de Kerosina (kg)		Horas	
			Inicio	Fin
	Inicio	Fin		
19-May-16	321713	321713	7:30	17:30
20-May-16	321713	322318.5	6:30	16:00
24-May-16	322318.5	322318.5	7:00	17:30
25-May-16	322318.5	322924.5	6:30	17:30
26-May-16	322924.5	322924.5	6:30	17:30
27-May-16	322924.5	323529.5	7:30	15:00
31-May-16	323529.5	323529.5	6:30	17:30
3-Jun-16	323529.5	324731	6:30	16:00
7-Jun-16	324731	324731	6:30	16:00
9-Jun-16	324731	324731	6:30	17:30
10-Jun-16	324731	325329.7	6:30	16:00
14-Jun-16	325329.7	325329.7	6:30	17:30
15-Jun-16	325329.7	325927.4	8:00	17:30
16-Jun-16	325927.4	326522.9	7:30	15:30
17-Jun-16	326522.9	326522.9	6:30	14:00
21-Jun-16	326522.9	327121.8	6:30	17:30
22-Jun-16	327121.8	327121.8	6:30	17:30
23-Jun-16	327121.8	327731.1	6:30	17:30
24-Jun-16	327731.1	327731.1	6:30	16:00
5-Jul-16	327731.1	328338.9	7:00	17:30
6-Jul-16	328338.9	328942.4	7:00	17:30
7-Jul-16	328338.9	328942.4	6:30	17:30
8-Jul-16	328942.4	329543.3	7:00	16:00
12-Jul-16	329543.3	329543.3	8:00	17:30
13-Jul-16	329543.3	330139.8	6:30	17:30
14-Jul-16	330139.8	330139.8	7:00	17:30
19-Jul-16	330139.8	330733	6:30	17:30
20-Jul-16	330733	331324	8:00	11:30
21-Jul-16	331324	331324	6:30	17:30
22-Jul-16	331324	331483.9	6:30	11:30
2-Aug-16	331483.9	332123	9:30	17:30
3-Aug-16	332123	332123	7:30	17:30
4-Aug-16	332123	332889.4	7:00	17:30

Continuación apéndice 1.

Fecha	Lectura de Kerosina (kg)		Horas	
			Inicio	Fin
	Inicio	Fin		
5-Aug-16	332889.4	332889.4	7:00	16:00
9-Aug-16	332889.4	333511.7	7:00	17:30
10-Aug-16	333511.7	333511.7	8:30	17:30
11-Aug-16	333511.7	333511.7	7:00	17:30
12-Aug-16	333511.7	334131.8	6:30	16:00
16-Aug-16	334131.8	334131.8	6:30	16:30
30-Aug-16	334131.8	334748.5	6:30	17:30
31-Aug-16	334748.5	335191.9	6:30	17:30
1-Sep-16	335191.9	335481.1	7:00	17:30
8-Sep-16	335481.1	335901.9	6:30	17:30

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Pesos de desechos alimentados

Fecha	Material Incinerado en (kg)					
	Plástico	Papel y cartón	Agua	Solvente	Otros	Total
31-Mar-16	95	222	771			1088
1-Apr-16	36	84	610		363	1093
5-Apr-16	122	197	485			804
6-Apr-16	99	305	540			944
7-Apr-16	180	163	645			988
8-Apr-16		81	215		775	1071
12-Apr-16	152	44	440			636
14-Apr-16	139	49	260			448
15-Apr-16	69	164	496		324	1053
19-Apr-16	0	206	510			716
20-Apr-16	204	84	448			736
21-Apr-16	130	138	500			768
22-Apr-16	71	47	415		57	590
26-Apr-16	53	275	450			778
27-Apr-16	93	225	600			918
28-Apr-16	126	62	400		131	719
29-Apr-16	74	122	450		271	917
4-May-16	361	37	650			1048

Continuación apéndice 2.

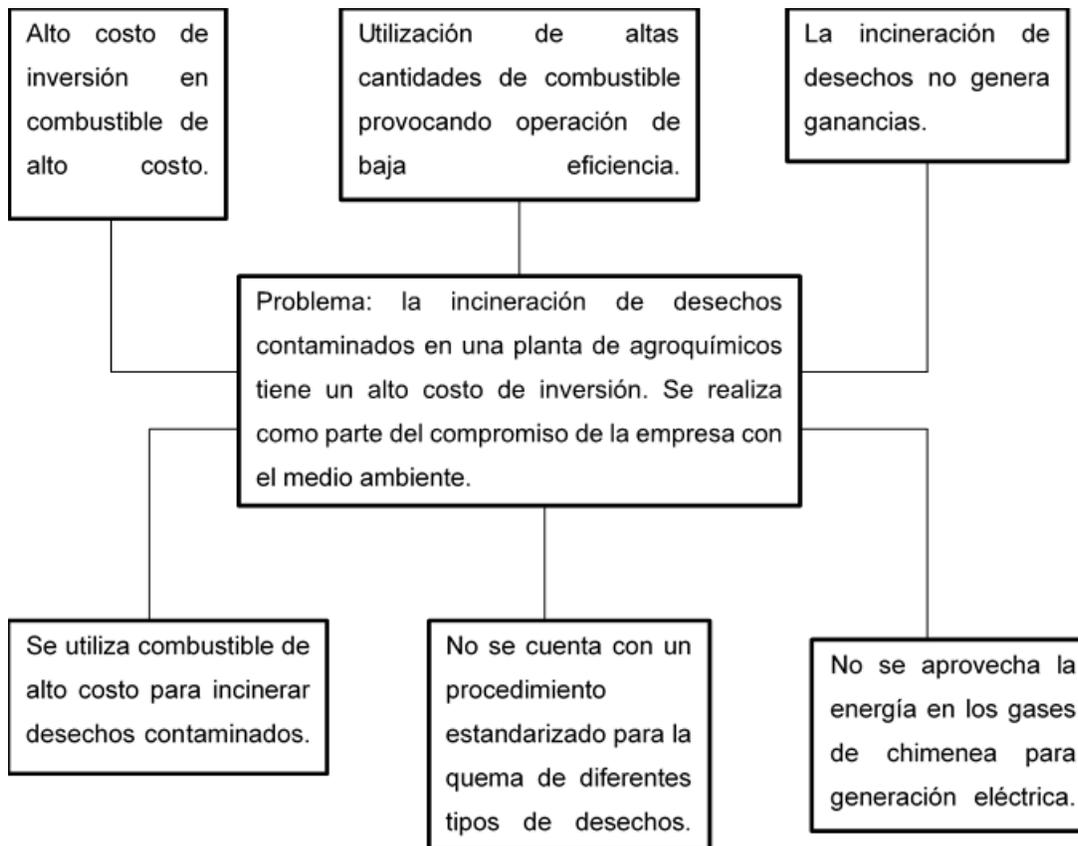
Fecha	Material Incinerado en (kg)					
	Plástico	Papel y cartón	Agua	Solvente	Otros	Total
5-May-16	170	93	706		35	1004
6-May-16	121		410		57	588
10-May-16	22	265	538			825
11-May-16	243	89	838			1170
12-May-16	137	127	860			1124
13-May-16	97	110	556		289	1052
17-May-16	125	77	520			722
18-May-16	559	43	1292			1894
19-May-16	405	43	1173			1621
20-May-16	28	517	952			1497
24-May-16	401	70	1235			1706
25-May-16	456	72	1519			2047
26-May-16	475	32	1365			1872
27-May-16	210	70	1060			1340
31-May-16	603	61	1184			1848
3-Jun-16	316	42	715			1073
7-Jun-16	230	23	1048			1301
9-Jun-16	248	21	1194		117	1580
10-Jun-16	511	70	1380			1961
14-Jun-16	83	569	1544			2196
15-Jun-16	43	332	1241			1616
16-Jun-16	41	344	870			1255
17-Jun-16	6	90	730		197	1023
21-Jun-16	244	46	1275			1565
22-Jun-16	332	78	984			1394
23-Jun-16	401	61	1360			1822
24-Jun-16	431	105	1425		209	2170
5-Jul-16	103	320	1214			1637
6-Jul-16	79	455	1291			1825
7-Jul-16	308	145	1497			1950
8-Jul-16	129	209	765		348	1451
12-Jul-16	223	76	967			1266
13-Jul-16	323	81	1165			1569
14-Jul-16	127	59	930		62	1178

Continuación apéndice 2.

Fecha	Material Incinerado en (kg)					
	Plástico	Papel y cartón	Agua	Solvente	Otros	Total
19-Jul-16	392	224	922			1538
20-Jul-16	82	30	345			457
21-Jun-16	244	46	1275			1565
22-Jun-16	332	78	984			1394
23-Jun-16	401	61	1360			1822
24-Jun-16	431	105	1425		209	2170
5-Jul-16	103	320	1214			1637
6-Jul-16	79	455	1291			1825
7-Jul-16	308	145	1497			1950
8-Jul-16	129	209	765		348	1451
12-Jul-16	223	76	967			1266
13-Jul-16	323	81	1165			1569
14-Jul-16	127	59	930		62	1178
19-Jul-16	392	224	922			1538
20-Jul-16	82	30	345			457
21-Jul-16	468	52	880			1400
22-Jul-16	80	40	210			330
2-Aug-16	150	193	760			1103
3-Aug-16	35	376	1172			1583
4-Aug-16	36	408	1197	0		1641
5-Aug-16	32	132	860		449	1473
9-Aug-16	34	363	1030			1427
10-Aug-16	121	200	767			1088
11-Aug-16	288	48	1155			1491
12-Aug-16	64	30	923		219	1236
16-Aug-16	68	176	658		902	1804
30-Aug-16	303	42	730			1075
31-Aug-16	294	72	1247			1613
1-Sep-16	341	73	995			1409
8-Sep-16	385	68	975	1428		2856

Fuente: elaboración propia.

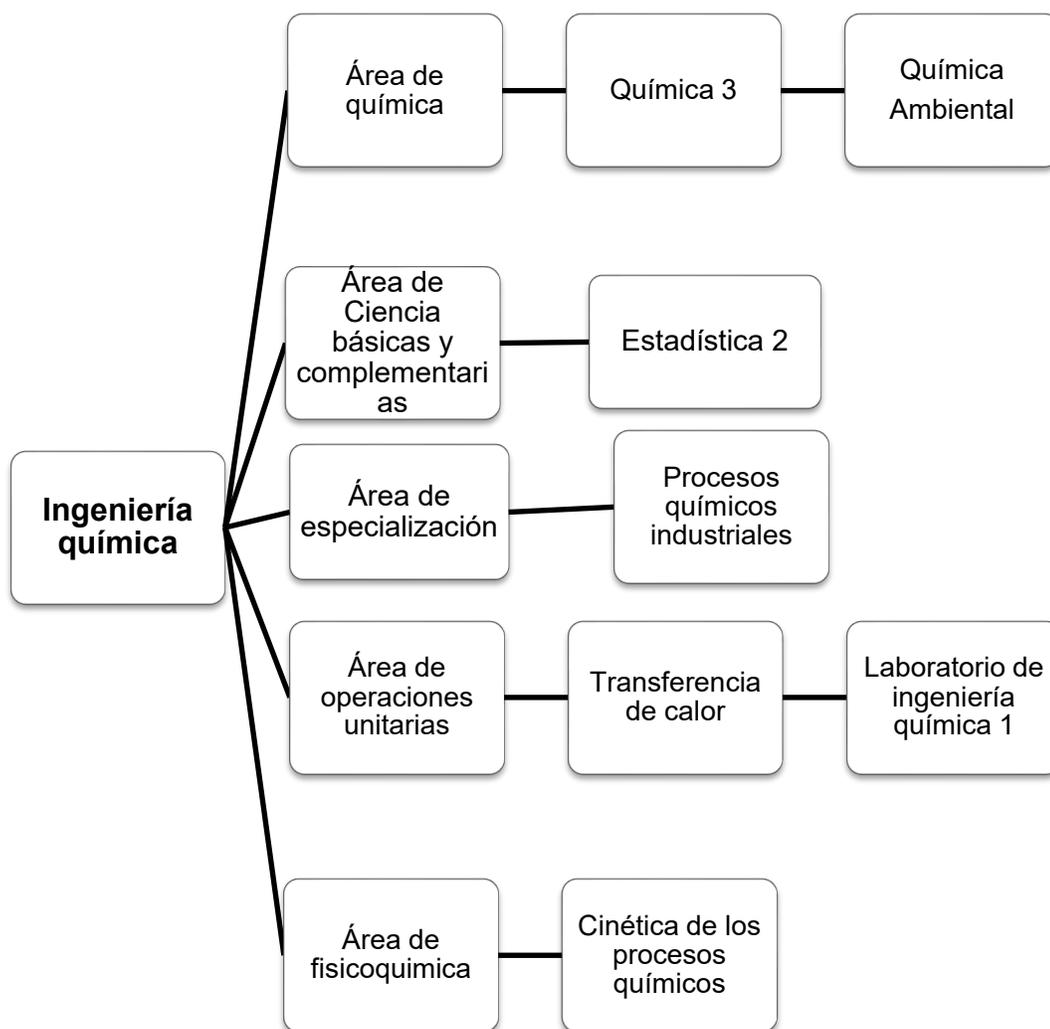
Apéndice 3. Diagrama de Ishikawa y árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de requisitos académicos



Fuente: Facultad de Ingeniería. USAC.

