



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD
DE PRODUCIR ENERGÍA RENOVABLE A PARTIR DE LOS
RESIDUOS SÓLIDOS DE UNA FÁBRICA DE CONCENTRADOS**

Vinicio Raúl Herrera Morales

Asesorado por el M.A. Ing. Byron de Jesús López Maldonado

Guatemala, mayo de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD
DE PRODUCIR ENERGÍA RENOVABLE A PARTIR DE LOS
RESIDUOS SÓLIDOS DE UNA FÁBRICA DE CONCENTRADOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

VINICIO RAÚL HERRERA MORALES

ASESORADO POR EL M.A. ING. BYRON DE JESÚS LÓPEZ MALDONADO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, MAYO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADORA	Inga. Sigrid Alitza Calderón de León
EXAMINADORA	Inga. Nora Leonor Elizabeth García Tobar
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 LA EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE PRODUCIR ENERGÍA RENOVABLE A PARTIR DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE UNA FÁBRICA DE CONCENTRADOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 6 de junio de 2015.

Vinicio Raúl Herrera Morales



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226



ADSE-MEAPP-014-2015

Guatemala, 23 de febrero de 2016.

Director
Juan José Peralta Dardón
Escuela de **Ingeniería Industrial**
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del (la) estudiante **Vinicio Raúl Herrera Morales** carné número **2008-15471**, quien opto 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 Energía y Ambiente**.

Y si 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 Decimo, 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.

Sin otro particular, atentamente,

MA. Ing. Byron de Jesús López Maldonado
Asesor (a)

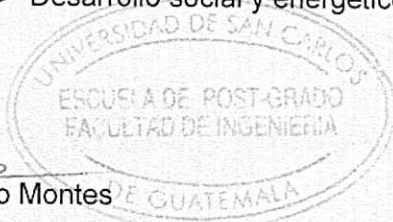
Byron de Jesús López Maldonado
Ingeniero Químico
Colegiado: 1066

"id y Enseñad a Todos"

Ing. Juan C. Fuentes M.
M.Sc. Hidrología
Colegiado No. 2,504

MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes M.
Coordinador de Área
Desarrollo social y energético

Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Directora Interina
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo
/la



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE PRODUCIR ENERGÍA RENOVABLE A PARTIR DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE UNA FÁBRICA DE CONCENTRADOS**, presentado por el estudiante universitario Vinicio Raúl Herrera Morales, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Juan José Peralta Dardón
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, mayo de 2016.



/mgp

Universidad de San Carlos
De Guatemala

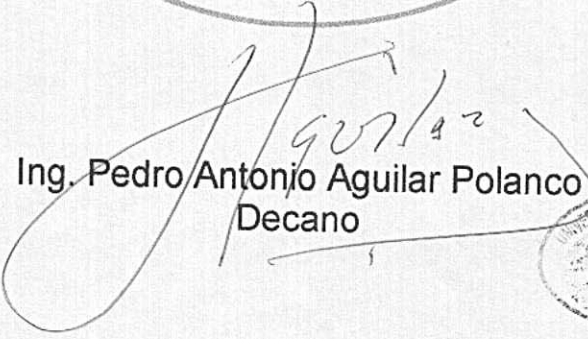


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.231-2016

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 Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE PRODUCIR ENERGÍA RENOVABLE A PARTIR DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE UNA FÁBRICA DE CONCENTRADOS**, presentado por el estudiante universitario: **Vinicio Raúl Herrera Morales**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, mayo de 2016

/cc

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
6. ALCANCES	17
7. MARCO TEÓRICO.....	19
7.1. Combustión directa en biomasa	19
7.2. Biomasa.....	25
7.3. Composición de los concentrados para animales	28
7.3.1. Materias primas de origen vegetal.....	28
7.3.2. Granos de leguminosas.....	30
7.3.3. Materias primas de origen animal.....	31
7.3.4. Aditivos	32
7.4. Centrales térmicas a base de biomasa.....	33
8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	39

9.	METODOLOGÍA	41
9.1.	Primera Fase: investigación bibliográfica	41
9.2.	Segunda Fase: muestreo	42
9.3.	Tercera Fase: análisis de información.....	43
9.4.	Cuarta Fase: evaluación técnica	44
9.5.	Quinta Fase: evaluación económica	45
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	47
11.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	49
12.	RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	51
13.	BIBLIOGRAFÍA	53

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Representación de obtención de electricidad mediante gases procedentes de la combustión directa.....	20
2.	Generación de biomasa	25
3.	Esquema de un secadero de transporte neumático de biomasa	28
4.	Partes de una caldera de biomasa.....	35
5.	Componentes básicos de una central térmica	37

TABLAS

I.	Composición química porcentual de la leña en función del contenido de humedad, en porcentaje, en peso	6
II.	Poder calorífico inferior de la leña en función del contenido de humedad	7
III.	Resultados teóricos de los análisis térmicos efectuados a la operación de cogeneración	8
IV.	Toma de datos	43
V.	Recursos económicos	51

1. INTRODUCCIÓN

La producción industrial de pecuarios genera residuos, los cuales deben ser gestionados eficiente y responsablemente, una forma de reutilizarlos es aprovechando su valor energético, en este caso su capacidad de producir calor. La presente investigación se desarrolla dentro de una fábrica que se dedica a producir concentrados para animales, ubicada en el departamento de Escuintla.

Derivado del proceso productivo se generan residuos sólidos orgánicos, los cuales actualmente son descartados hacia un vertedero municipal, la razón es porque no se les encuentra ninguna utilidad y contribuyen a la contaminación del ambiente.

Este estudio se enfocará en valorar el potencial calorífico que tienen los residuos de concentrados de manera que puedan ser aprovechados en un sistema que produzca energía. Para esto es necesario hacer una evaluación técnica de los residuos de la planta y verificar la viabilidad de su utilización.

Se realizará un análisis que determine si manejar estos residuos como biomasa para combustión es factible desde el punto de vista económico, tomando en cuenta las inversiones en tecnología necesarias para poder adecuar el sistema, así como contabilizar el ahorro obtenido de aprovechar los residuos propios y minimizar el consumo actual de hidrocarburos.

En el capítulo 1, se presentarán los antecedentes generales de la fábrica de concentrados, incluyendo el manejo, recolección y disposición final actual

de los residuos sólidos procedentes de la producción de la planta, así como un diagnóstico del impacto ambiental derivado de los mismos.

En el capítulo 2, se describirá el marco teórico de la investigación referente a la combustión directa de biomasa, incluyendo tipos de biomasa, composición de concentrados para animales y equipos de centrales térmicas a base de biomasa.

El capítulo 3, tratará sobre el análisis de las variables a estudiar de los residuos de concentrados, incluyendo la toma de muestras, resultados de laboratorio, cotejo con investigaciones previas acerca del uso de biomasa y se estimará la cantidad de residuos producida por la planta mensualmente.

En el capítulo 4 se llevará a cabo una evaluación técnica de la maquinaria y equipos con los cuales se puede producir energía a base de biomasa, se presentarán los resultados experimentales obtenidos en una tercera fábrica que utilice biomasa para producir energía.

El capítulo 5, tratará sobre la evaluación económica del proyecto de utilizar los residuos de concentrados para producir energía, tomando en cuenta la inversión en los equipos necesarios, implementación, costos de operación, ahorros y tiempo de retorno.

2. ANTECEDENTES

Desde la década de los 70, en Guatemala las industrias de concentrados se han ido estableciendo en tres grupos principales: la pequeña industria, que labora a nivel local y cuyos propietarios en su mayoría no cuentan con equipo especializado, sus recursos económicos son muy limitados y sus costos elevados; las industrias intermedias localizadas en su mayoría en la ciudad capital o en algunas cabeceras departamentales que están más o menos desarrolladas, y las grandes industrias, que por lo general son propiedad de compañías multinacionales por lo que cuentan con un elevado financiamiento, tecnología y equipos avanzados, importan gran parte de las materias primas para su proceso y poseen una amplia capacidad de propaganda y extensa comercialización (Arango, 1980).

Debido a que no se encontraron estudios específicos que valoricen la capacidad energética de los residuos de concentrados, se presentan como antecedentes las investigaciones previas acerca de temas semejantes, tomando en cuenta que la composición de los concentrados es en gran porcentaje cultivos energéticos, harinas procesadas y grasas, entre otros componentes como se verá en el marco teórico.

En su tesis *Propuesta de utilización de residuos de palma de aceite como combustible para generar energía eléctrica*, Monroy determina las características energéticas de los residuos de palma, en la Unidad de Análisis Instrumental (UAI) que pertenece a la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Para esto realizaron 3 pruebas: la primera es la prueba de calorimetría, mediante la toma y trituración de muestras

convirtiéndolas en polvo, determinando la energía utilizando como parámetro el contenido calórico por unidad de masa, dando como resultado lo siguiente:

1 818,2 kcal/kg para la cáscara

3 577,81 kcal/kg para la fibra

Posteriormente, procedió al cálculo de la cantidad de energía en kilocalorías que puede aportar un kilogramo de mezcla de cáscara y fibra, con lo que obtuvo la capacidad energética del residuo de palma de aceite:

Datos de la mezcla para la combustión:

Fibra 32,5 %

Cáscara 67,5 %

Cálculos

Fibra: $0,32 \text{ Kg} * 3 577,9 \text{ Kcal/kg} = 1 162,79 \text{ Kcal}$

Cáscara $0,67 \text{ Kg} * 1 818,20 \text{ Kcal/kg} = 1 227,29 \text{ Kcal}$

Por lo que un kilogramo de mezcla tiene un total de 2 390 kcal.

La segunda prueba es la de humedad del residuo, la cual es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca, para lo cual obtuvo:

Cáscara 10 %

Fibra 13 %

Ya que el contenido de humedad no supera el 20 %, no se requiere tratamiento de secado, lo cual hace más eficiente la capacidad energética del residuo.

La tercera prueba es la de ceniza del residuo, este porcentaje indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material. Para ello Monroy realizó las pruebas de ceniza de cáscara y fibra, obteniendo como resultado:

Cáscara de 3,18 %

Fibra de 8,82 %

Al ser menor al 10 %, concluyó que los residuos de ceniza permanecen en un rango aceptable. Entre las ventajas que Monroy encontró (2005) de este residuo fue el hecho de ser una fuente renovable de energía que no contribuye a las emanaciones que provocan “lluvia ácida”, reducción de problemas de manejo de estos desechos y menor contaminación del agua y erosión de suelos. Entre las desventajas que encontró fue el hecho que se requiere de grandes volúmenes para producir potencia, en comparación con los combustibles fósiles, además, la combustión incompleta produce materia orgánica, monóxido de carbono y otros gases, como óxidos de nitrógeno, y que el potencial calórico de este residuo es muy dependiente de las variaciones en el contenido de humedad, clima y densidad de la materia prima.

Los resultados de estas pruebas le permitieron determinar que estos residuos tienen un potencial calórico bastante atractivo, con un impacto ambiental menos perjudicial que otras tecnologías (Monroy, 2005).

En su tesis *Estudio de factibilidad para la producción de energía eléctrica, a partir de biomasa de eucalipto*, de León propone una alternativa para generar energía utilizando biomasa de eucalipto. Para ello, determinó la composición química porcentual de los residuos de leña en función del contenido de humedad, como se muestra en la tabla 1.

Tabla I. **Composición química porcentual de la leña en función del contenido de humedad, en porcentaje, en peso**

COMPUESTO QUÍMICO	CONTENIDO DE HUMEDAD (% b.h.)		
	0	20	40
Carbono	50,3	40.24	30,18
Hidrógeno	6,2	4.96	3,72
Oxígeno	43,08	34.46	25,85
Nitrógeno	0,04	0.03	0,02
Azufre	0	0	0
Cenizas	0,37	0,31	0,23
Total	100	100	100

Fuente: De León, J. *Estudio de factibilidad para producción de energía eléctrica, a partir de biomasa de eucalipto*. p. 120.

Posteriormente, se evaluó el comportamiento del poder calorífico en función del contenido de humedad (ver tabla 2). Asimismo, efectúa pruebas en calderas a base de biomasa, comparándolas con las convencionales que utilizan bunker, también realizó un análisis financiero para determinar su factibilidad. Con sus resultados concluyó que es viable utilizar la madera desfibrada de eucalipto como biomasa para quemarse, ya que mantiene una combustión estable y continua para poder generar energía durante el tiempo de la no zafra, siendo un proyecto de menor costo comparado con el tradicional bunker, lo cual produce un efecto positivo en la economía del ingenio (de León, 2010).

Tabla II. **Poder calorífico inferior de la leña en función del contenido de humedad**

Contenido de humedad	de Hi (KJ/Kg)
0	19 880
10	17 644
20	15 412
30	13 180
40	10 947
50	8 715
60	6 483

Fuente: De León, J. *Estudio de factibilidad para producción de energía eléctrica, a partir de biomasa de eucalipto*. p. 120.

García, en su tesis *Análisis termo-económico de una central cogeneradora con biocombustibles* investigó cómo la cogeneración se ha ido desarrollando en los ingenios a partir de biomasa, también realizó evaluaciones técnicas de los biocombustibles y comparaciones de diferentes tipos de biomasa, entre las que se pueden mencionar.

El bagazo de caña, que es el subproducto o residuo que resulta de la molienda de la caña de azúcar en el que permanece jugo residual y humedad provenientes del proceso de extracción. En este caso, el poder calorífico promedio encontrado fue de 8,350 Btu/lb para bagazo seco libre de cenizas, pero en un bagazo con 50 % de humedad y 15 % de ceniza, el poder calorífico se redujo a 3 357 Btu/lb.

El chip de madera, un residuo que proviene principalmente de la plantación de eucalipto, el calor de combustión encontrado fue de 4 892 Btu/lb con una humedad de 29,44 % y un porcentaje de cenizas de 1,97 %.

Hoja de caña (*trash*) producto del corte mecanizado en verde, cuyas características encontradas fueron 11,03 % de humedad, 8,80 % de cenizas y un calor de combustión de 4 641 Btu/lb.

Para cada tipo de biomasa, se determinó la eficiencia neta del sistema, así como el costo de operación, comparándolo con el bunker núm. 6 C como se muestra en la tabla 3.

Tabla III. **Resultados teóricos de los análisis térmicos efectuados a la operación de cogeneración**

	UNIDAD	BUNKER	BAGAZO	CHIP	HOJA DE CAÑA	UNIDAD
CALDERA						
	lb vapor/ lb					
Ef. Caldera	combustible	13,96	2,31	3,63	2,33	
Energía útil	Btu/lb	16 501,68	2 730,44	4291,51	2 754,08	
Pérdida						
Humedad	Btu/lb	0,68	673,13	398,16	148,52	
Ef. Caldera	%	91,3	64,2	87,73	59,34	
TURBINA						
HR Turbina	Btu/Kwh	13 205,47	15 860,92	14 775,53	17 034,54	
Ef. Turbina	lb vapor/Kwh	9,71	11,67	10,87	12,53	
CICLO						
Ef. Neta	Kwh/gl	10,6	376,43	639,83	353,56	Kwh/t
COSTO						
Precio	\$/gl	1,63	15	32	30	\$/t
Costo Neto	\$/Kwh	0,154	0,039	0,05	0,085	

Fuente: García, R. *Cotización energética de Guatemala*. p. 36.

Los resultados de su investigación indican que la utilización de los diferentes tipos de biomasa poseen ventajas sobre el tradicional bunker: tienen un bajo costo de operación, son fuentes de energía renovables que aportan beneficios al ambiente reduciendo las emisiones de dióxido de carbono. Entre las desventajas encontradas fueron: problemas con la combustión por alta humedad, dificultades para alimentación de la caldera y se tiene menor eficiencia energética en comparación con los combustibles fósiles (García, 2009).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las industrias pecuarias están constantemente mejorando sus procesos y adaptándose a los cambios en la demanda de concentrados, debido a que la alimentación animal es progresivamente mayor derivada del inminente crecimiento poblacional, lo cual contribuye a incrementar las cantidades de residuos como consecuencia del proceso normal de producción.

En el departamento de Escuintla, se encuentra una de las fábricas de concentrados más grande de Centroamérica, donde se elaboran diversos tipos de estos productos alimenticios. Procedente de estos procesos se generan residuos sólidos con los que actualmente no se tiene contemplado ningún fin, enviándolos a un vertedero municipal y por lo tanto, contribuyendo a la contaminación.

Actualmente, en la fábrica no se tiene uso alguno para los residuos de concentrados, las causas pueden ser varias: desconocimiento del potencial energético, insuficiente gestión debido al bajo interés en el tema ambiental, entre otros. Por lo tanto es necesario evaluar técnica y económicamente su utilización y aprovechamiento para la producción de energía.

Debido al desconocimiento del potencial que puedan tener los residuos sólidos de concentrados, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Es viable la utilización de los residuos sólidos de concentrados para producir energía renovable?

2. ¿Cuáles son las características fisicoquímicas que deben tener estos residuos para producir energía?
3. ¿Cuánta energía puede obtenerse por cada kilogramo de residuos?
4. ¿Es viable técnicamente utilizar estos residuos para producir energía?
5. ¿Es viable económicamente utilizar estos residuos para producir energía?

El problema principal radica en que actualmente la falta de gestión de estos residuos está causando problemas de contaminación del suelo, generando un ambiente propicio para la proliferación de enfermedades e incrementando el costo de operación de la planta.

4. JUSTIFICACIÓN

La contaminación ambiental es un tema al que se le da poco interés en Guatemala. La presente investigación está orientada a dos líneas de investigación de la Maestría en Energía y Ambiente: la primera es “Tratamientos y estrategias en la gestión de residuos: estabilización y solidificación de residuos, legislación básica sobre generación de residuos y problemática en la generación de residuos.”, y la segunda es “Energía renovable y no renovable: consumos domésticos, fuentes renovables y no renovables”.

Este estudio se enfoca en la disminución del impacto ambiental que provocan los residuos sólidos generados del proceso de producción de concentrados, debido a que actualmente en la empresa no se sabe qué hacer con este tipo de desecho, y se necesita urgentemente una investigación de esta índole.

Actualmente, los residuos al ser descartados presentan múltiples riesgos fuera del alcance de la planta: pueden ser empleados por personas ajenas dañando la imagen de la empresa, o pueden ser mal utilizados para alimentar animales, lo cual incrementaría aún más el impacto ambiental.

Esta investigación apoyará a la gestión ambiental de la empresa y servirá también como base científica para futuras investigaciones del residuo generado durante el proceso de producción. Los resultados que se obtengan beneficiarán directamente a los directivos de la planta, quienes tendrán un mejor conocimiento de sus residuos para optar a un proceso que mejore sus

costes y que sea menos contaminante. Derivado de esto se beneficia a los empleados de la fábrica, con un ambiente más salubre, existe además una relevancia social: se beneficia la comunidad de Escuintla, cuya contaminación por la fábrica se vería mermada en el sentido de que ya no habría necesidad de descartar estos residuos, en vez de eso servirían como materia prima para la generación de energía.

Cabe destacar que los efectos originados por la combustión de la biomasa, son menores que los generados por combustibles fósiles y que a diferencia de ellos, el dióxido de carbono originado en el proceso de combustión de la biomasa es devuelto a la atmósfera, desde donde fue tomado durante su generación, de manera que el uso de la biomasa como combustible no hace aumentar el contenido de dióxido de carbono de la atmósfera y, por lo tanto, no atribuye a incrementar el efecto invernadero, siempre y cuando su uso sea controlado y se utilicen métodos adecuados.

Con la presente investigación se pretende incentivar el uso de fuentes de energía renovable. También se espera que sea de utilidad en el futuro para la inversión en medidas que contribuyan a reducir la contaminación, fomentar la protección y cuidado del medio ambiente; así como reducir los costos de la operación.

5. OBJETIVOS

General

Evaluar la viabilidad de producir energía renovable a partir de los residuos sólidos de una fábrica de concentrados.

Específicos

1. Determinar las características físicoquímicas de los residuos sólidos generados en la producción de concentrados.
2. Estimar la cantidad de energía que se puede obtener de los residuos sólidos de concentrados.
3. Analizar la viabilidad técnica de producir energía a partir de residuos de concentrados.
4. Evaluar la viabilidad económica de utilizar residuos sólidos de concentrados para producir energía.

6. ALCANCES

El alcance de esta investigación se enfoca en una planta de producción de concentrados para animales, ubicada en el departamento de Escuintla, para evaluar técnica y económicamente su utilización y aprovechamiento para producir energía. El usuario final de los conocimientos generados por esta investigación son los directivos de la fábrica, quienes se encargan de ejecutar proyectos de inversión y el estudio abarca todos los residuos sólidos orgánicos generados en el proceso productivo de la planta.

Los beneficiarios de esta investigación son:

- Los directivos de la empresa.
- El personal que labora directamente en la fábrica.
- La comunidad residente en el pueblo de Escuintla.
- Docentes y estudiantes de la Maestría en Energía y Ambiente de la Facultad de Ingeniería.

La originalidad de esta investigación, se evidencia en el hecho que no se encontraron estudios que valoricen específicamente los desechos de los concentrados para producir energía, y concluirá hasta que se haya determinado la viabilidad o no de utilizarlos para tal efecto.

Como limitantes de la investigación, se pueden mencionar los siguientes factores: la producción que es la que necesariamente marca la disponibilidad de desecho a analizar, el tiempo de realización del trabajo de graduación que es

aproximadamente de 8 meses, el presupuesto y la confiabilidad de los resultados de laboratorio.

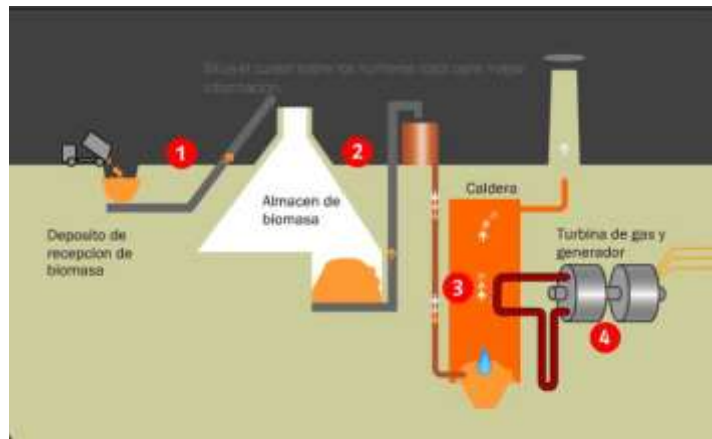
7. MARCO TEÓRICO

7.1. Combustión directa en biomasa

El proceso de combustión es la reacción química entre un combustible y el comburente (aire) con la finalidad de producir energía térmica. Es un método termoquímico en el que se produce la oxidación completa de la biomasa que pueden ser leñas, maderas, cultivos, briquetas, entre otros, liberando gran cantidad de calor. Esta energía obtenida puede ser usada tanto para fines domésticos (cocción, calefacción) como industriales (secado de productos agrícolas, generación de energía mecánica o eléctrica, entre otros) Los elementos básicos de un equipo de combustión son el horno y el quemador; la combinación de ambos proporcionan los cuatro elementos básicos de la combustión directa: mezcla íntima de combustible (biomasa) y comburente (aire), admisión de cantidades suficientes de comburente para quemar por completo el combustible, temperatura suficiente para encender la mezcla de combustible y aire, y tiempo de residencia necesario para que la combustión sea completa (“Combustión directa”, 2014).

El proceso se produce normalmente en exceso de oxígeno, alcanzando temperaturas entre 800-1 100 °C en un sistema que tiene como elemento principal una caldera u horno y, en general, se puede describir de la siguiente manera, como se ilustra en la figura 1.

Figura 1. **Representación de obtención de electricidad mediante gases procedentes de la combustión directa**



Fuente: De León, J. *Estudio de factibilidad para producción de energía eléctrica, a partir de biomasa de eucalipto*. p. 122.

1. La biomasa es almacenada en un depósito de alimentación, lugar cerrado y habilitado específicamente para esos fines.
2. El combustible es preparado, lo que correspondería a trozar/picar/astillar la biomasa sólida y posteriormente un proceso de secado. El equipo que se utiliza principalmente para el secado es un secador rotatorio, que utiliza aire caliente o vapor seco, aunque también puede no utilizarse un equipo y sí grandes extensiones de terreno para un secado de forma natural.
3. El combustible es transportado en camiones tolva o a través de un sistema neumático al silo de la caldera donde se mezcla previo a su combustión y desde allí se alimenta al horno.
4. Se introduce el aire necesario en el horno para la combustión mediante un ventilador, pero precalentado, consiguiendo un aprovechamiento de energía con un intercambiador de calor del vapor de los gases de retorno (“Combustión Directa”, 2014).

Las características físicas y químicas de la biomasa determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se pueden generar, por ejemplo los residuos animales producen altas cantidades de metano, mientras que la madera puede producir el denominado “gas pobre” que es una mezcla rica en óxido de carbono (CO). El contenido de humedad de la biomasa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca, para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30 %, muchas veces es necesario implementar un sistema de acondicionamiento antes de entrar al proceso de conversión de energía (Biomass Users Network of Central America (BUN-CA), 2002).

El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material, en algunos casos esta puede ser utilizada para otro fin. El contenido calórico por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa. Su poder calórico está relacionado directamente con el contenido de humedad. Un elevado porcentaje de humedad reduce la eficiencia de la combustión debido a que una gran parte del calor liberado se usa para evaporar el agua y no se aprovecha en la reducción química del material.

La densidad aparente se define como el peso por unidad de volumen del material en el estado físico que presenta, bajo condiciones dadas, los combustibles con alta densidad aparente favorecen la relación de energía por unidad de volumen, requiriéndose menores tamaños de los equipos y aumentando los períodos entre cargas. Por otro lado, baja densidad aparente necesita mayor volumen de almacenamiento y transporte, ocasionando problemas para fluir por gravedad lo cual complica el proceso de combustión. (BUN-CA, 2002).

El calor específico de combustión (s) es la propiedad más importante de los combustibles, se define como la cantidad de calor necesaria para elevar un grado Celcius la temperatura de un gramo de la sustancia, y la capacidad calorífica (C) de una sustancia es la cantidad de calor necesario para elevar un grado Celcius la temperatura de una cantidad determinada de sustancia. El calor específico es una propiedad intensiva (no depende de la cantidad de sustancia presente), en tanto que la capacidad calorífica es una propiedad extensiva, es decir que depende de la cantidad de sustancia (Garcés y Martínez, 2006).

La relación entre la capacidad calorífica y el calor específico es la siguiente:

$$C = ms$$

Si se conoce el calor específico y la cantidad de sustancia, entonces el cambio en la temperatura de una muestra (Δt) indicará la cantidad de calor (q) que se ha absorbido o liberado en un proceso en particular, la ecuación para calcular el cambio de calor (q) está dada por:

$$q = ms\Delta t$$

$$q = C\Delta t$$

Donde m es la masa de la muestra, y Δt es el cambio de la temperatura, el signo convencional de q es positivo para procesos endotérmicos y negativo para procesos exotérmicos (Garcés y Martínez, 2006).

En los tratamientos termoquímicos se utiliza tecnología disponible comercialmente, que convierte biomasa en energía térmica mediante pirólisis, gasificación y combustión ya sea en lecho fijo o fluidizado, para lo cual se

requiere conocer la humedad, el poder calorífico inferior (PCI) y superior (PCS), proporciones de carbono, contenido y composición de cenizas, tamaños de biomasa a utilizar, por incidir todos ellos en la eficacia y eficiencia. El contenido de humedad debe ser bajo, la energía neta disponible, debe oscilar entre 8 000 KJ/kg para biomasa verde o húmeda y 20 000 KJ/kg para biomasa seca (Prando, 2014).

El poder calorífico inferior (PCI) es la cantidad de calor que puede proporcionar el combustible cuando toda el agua en los productos permanece como vapor, mientras el poder calorífico superior (PCS) indica el calor que puede liberar el combustible cuando toda el agua en los productos se condensa. (Garcés y Martínez, 2006).

“Se consideran combustibles ricos los que tienen $PCS > 5\,000$ kcal/kg (petróleo, gas natural...) y pobres los que tienen $PCS < 5\,000$ kcal/kg (lignitos, gas ciudad)” (Ruiz, 2013).

Ruiz (2013), en su tesis puntualiza que durante un proceso de combustión, los combustibles están básicamente compuestos por 2 tipos de elementos químicos: los activos, es decir, los que reaccionan químicamente, y los inactivos que permanecen químicamente inalterados. Los elementos activos van ligados a la materia orgánica del combustible siendo las especies químicas principales el carbono (C), el hidrógeno (H), el azufre (S) y el nitrógeno (N). En los combustibles sólidos y líquidos se puede distinguir:

- La materia volátil: el conjunto de hidrocarburos que se volatilizan en el calentamiento progresivo del combustible.

- Carbono fijo: el resto carbonoso que permanece tras el escape de los volátiles y que está ligado a las cadenas carbonosas de la materia orgánica.

La temperatura adiabática es la temperatura que alcanzarían los gases de combustión, si la combustión fuera adiabática y no se dissociaran. Es por tanto un valor ideal que no se alcanza en la práctica. Este valor es un indicador de la temperatura máxima que se podría alcanzar en la combustión, y por lo tanto desestimar los procesos que exijan temperaturas superiores a estas teóricas (Ruiz, 2013).

Existen principalmente 2 tipos de combustión en función de los productos que de ella derivan:

- Combustión completa: las reacciones de oxidación no producen CO ni otros compuestos intermedios.
- Combustión incompleta: las reacciones de oxidación son parciales, aparece CO y otros inquemados (hollín, combustible, entre otros).

De toda la energía que contiene el combustible, no se aprovecha la totalidad, ya que existen una serie de pérdidas que se exponen a continuación:

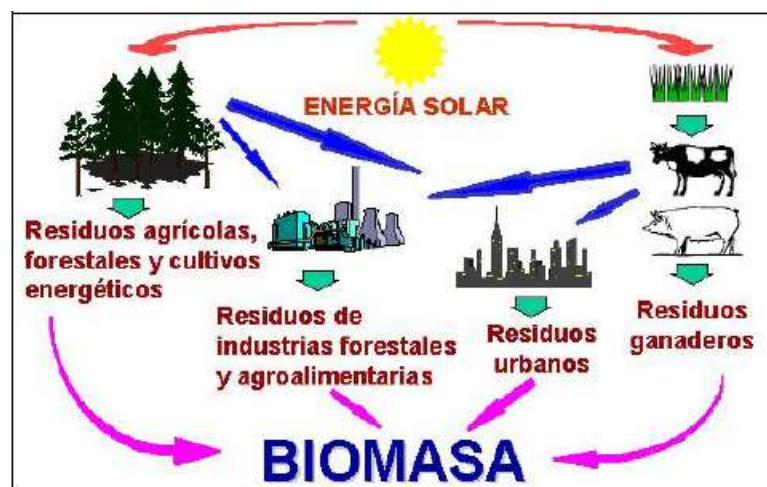
- Por los inquemados: corresponde a la sumatoria de la energía que se pierde con cada uno, por lo que es necesario conocer las fracciones másicas de inquemados y sus poderes caloríficos.
- Por radiación y convección, desde las paredes exteriores calientes.
- Por la energía que se pierde con los gases de combustión (Ruiz, 2013).

7.2. Biomasa

“El término biomasa se refiere a la materia orgánica que proviene de vegetación, residuos de animales, residuos provenientes de agricultura, del aserradero, residuos urbanos, etc. que pueden ser convertidos en energía” (García, R. 2008).

Entre las energías renovables destaca el uso de productos obtenidos a partir de materia orgánica para producir energía. Estos productos componen lo que se denomina comúnmente “biomasa” (ver figura 2), una definición que abarca un gran grupo de materiales de diversos orígenes y con características muy diferentes. Los residuos de aprovechamientos forestales y cultivos agrícolas, residuos de podas de jardines, residuos de industrias agroforestales, cultivos con fines energéticos, combustibles líquidos derivados de productos agrícolas, residuos de origen animal o humano, entre otros, todos pueden considerarse dentro de la citada definición (Muñoz, 2007).

Figura 2. **Generación de biomasa**



Fuente: ROYO & NOGUÉS. *Ciclo energía renovables, jornadas de biomasa*. p. 20.

La energía que contiene la biomasa es energía solar almacenada a través de la fotosíntesis, proceso por el cual algunos organismos vivos, como las plantas, utilizan la energía solar para convertir los compuestos inorgánicos que asimilan (como el CO₂) en compuestos orgánicos. La Especificación Técnica Europea define la biomasa como “Todo material de origen biológico excluyendo aquellos que han sido englobados en formaciones geológicas sufriendo un proceso de mineralización” (Elías & Bordas, 2011).

Existen varios tipos de biomasa, entre los que se pueden mencionar los siguientes:

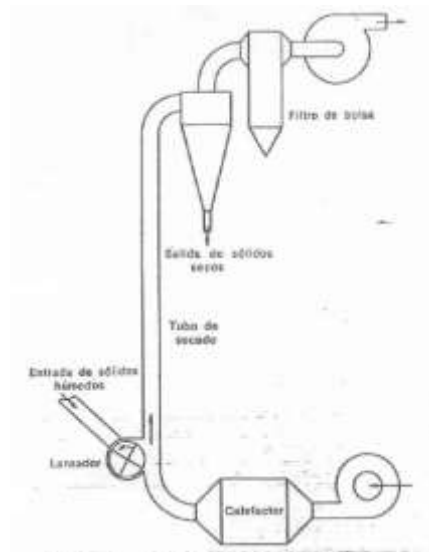
- Los residuos forestales que se obtienen de masas vegetales en las operaciones de limpieza, poda, corta de montes, entre otros.
- Residuos agrícolas leñosos: las podas de olivos, árboles frutales, viñedos, entre otros.
- Residuos agrícolas herbáceos: se obtienen durante la cosecha de algunos cultivos, como los de cereales (paja) o maíz.
- Cultivos energéticos: son cultivos de especies vegetales destinados específicamente a la producción de biomasa para uso energético. Entre las distintas especies agrícolas herbáceas susceptibles de convertirse en cultivos energéticos destacan el cardo, el sorgo y la colza etíope. Además, también pueden utilizarse especies forestales leñosas, como los chopos, en zonas de regadío, y los eucaliptos, en terrenos de secano.
- Residuos de industrias forestales y agrícolas: las astillas, las cortezas o el serrín de las industrias de primera y segunda transformación de la madera y los huesos, cáscaras y otros residuos de la industria agroalimentaria (aceite de oliva, conservera, frutos secos) son parte de los biocombustibles sólidos industriales (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA), 2011).

En muchas ocasiones, la biomasa se elimina por ser molesta para la instalación que la produce o porque entorpece las labores agrarias o ganaderas que la generan. Cuando esto ocurre, se está desperdiciando una fuente de energía importante, basta recordar que considerando por término medio, un kilogramo de biomasa permite obtener 3 500 kcal y que un litro de gasolina tiene aproximadamente 10 000 kcal, por cada tres kilogramos que se desperdician de biomasa, se desaprovecha el equivalente a un litro de gasolina. Habitualmente, el contenido energético de la biomasa se mide en función del poder calorífico del recurso, aunque para algunos de ellos, como es el caso de la biomasa residual húmeda o de los biocarburantes, se determina en función del poder calorífico del producto energético obtenido en su tratamiento (Royo & Nogués, 2002).

La biomasa, tal y como se obtiene en sus lugares de producción no tiene, por lo general las características adecuadas de tamaño, humedad, forma, entre otros. requeridas por las tecnologías de conversión energética, existen diferentes procesos físicos relacionados con la preparación de dichos recursos, los principales son el cortado o troceado, el astillado que consiste en una reducción granulométrica, la molienda, el secado, que consiste en extraer agua de la biomasa a fin de lograr un producto con menor humedad, de acuerdo a especificaciones requeridas por los procesos de conversión energética.

Los equipos más utilizados por la industria para secado de biomasa de pequeño tamaño, son los secaderos de transporte neumático (ver figura 3) en los que las partículas se secan en suspensión, en una corriente de aire caliente o vapor seco que se inyecta por la parte inferior del secadero. Cuando una partícula se seca, pesa menos y se arrastra más fácilmente hasta el ciclón de salida (Carrasco, 2008).

Figura 3. **Esquema de un secadero de transporte neumático de biomasa**



Fuente: CARRASCO, J.E. *Combustión directa de la biomasa*. p. 26.

7.3. Composición de los concentrados para animales

La industria de concentrados, para la fabricación de sus productos, requiere de una serie de materias primas, que son las encargadas de proveer al producto final los elementos con los cuales se cumplan los requerimientos nutricionales diarios para cada especie. Estas materias primas tienen su origen en el reino vegetal y el reino animal.

7.3.1. Materias primas de origen vegetal

Su composición en sustancias nutritivas es muy variable y con frecuencia desequilibrada, se emplean usando mezclas de unos con otros para complementarse entre sí. Su gran aporte es en volumen que dan a la ración, las principales son las siguientes.

- Granos de cereales: las semillas de cereales constituyen la base para la mayoría de concentrados, para las diferentes especies como aves, cerdos y rumiantes. Su composición depende de la especie y variedad, el grado de humedad, la región donde se cultivan y otros muchos factores; sin embargo, los rangos más comunes son los siguientes: agua 10 al 18 %; materia seca 90 al 82 %, proteína bruta 8 al 12 %, hidratos de carbono 60 al 70 %, y fibra bruta 2 al 7 % (Oliveros, 2014).

Según Reyes y Martínez (2009) los cereales más utilizados en la alimentación animal son el maíz y la cebada, seguidos por el trigo, avena, sorgo, arroz y sus respectivos derivados:

- Maíz: el más utilizado es el maíz híbrido de granos dentados color amarillo. Esta es la materia prima más utilizada en la fabricación de concentrado por su alto valor energético, contiene poca fibra y algo más de grasa que los restantes cereales, excepto la avena.
- Salvado de maíz común: es el producto obtenido de la trilla de maíz, tiene menor valor y puede reemplazar al maíz parcialmente en la dieta.
- Germen de maíz: es un subproducto de la fabricación de almidón y glucosa de maíz, contiene bastante grasa, pero su contenido de proteína y fibra es bajo.
- Gluten de maíz: contiene cerca del 23 % de proteínas y puede ser usado como suplemento de proteínas.
- Cebada desnuda o decorticada: es el grano que ha sufrido un proceso de trilla y se le ha quitado la cascarilla con un alto contenido de fibra.
- Trigo: tiene como característica la alta digestibilidad y valor nutritivo. Es el cereal más rico en proteínas, pero resulta deficiente en lisina y treonina.

- Mogolla de trigo: subproducto de trigo con alto contenido en grasa, fibra y proteína.
- Avena: aventaja al trigo porque su composición en aminoácidos es mejor, aunque su contenido en proteínas es menor. Este cereal en forma de harina resulta adecuado para todas las especies, principalmente para los rumiantes.
- Sorgo: es un cereal que presenta características intermedias entre el maíz y el trigo, su valor alimenticio está cerca del 90 % de la del maíz, así como es el menor en contenido proteico respecto al maíz.
- Arroz: sus aportes en cuanto a fibra y materia seca son considerables, aunque hay diferencia alimenticia según la forma como se use: el arroz entero remojado presenta un 92 %, contra el 102 % del arroz partido, en relación con la eficiencia alimenticia del arroz molido. Su uso se limita por el alto costo, por lo que casi siempre se reemplaza con maíz.
- Harina de arroz: subproducto de la producción de arroz, que se consigue en muchas regiones a un precio menor que el maíz. Contiene partículas de grano quebrado, un poco de salvado y un poco de germen, pero en su mayoría es pulimento de arroz.
- Salvado de arroz: tiene aproximadamente el mismo valor nutritivo que el maíz si se emplea a un nivel inferior al 30 % de la ración. Cuando se emplea en mayor proporción, su valor nutritivo relativo disminuye y cuando constituye más del 50 % en la ración, origina canales blandas (Reyes y Martínez, 2009).

7.3.2. Granos de leguminosas

Según Oliveros (2014) son uno de los recursos que se tienen para aumentar el contenido proteico de las raciones y hacerlas más equilibradas. Estos granos tienen la misma cantidad de materia seca que los granos de

cereales, de un 20-26 % de proteína bruta, hidratos de carbono de 48-50 %, además, son más ricos en fósforo y calcio en comparación con los granos cereales:

- Soya: es la leguminosa más importante a escala mundial en el uso para raciones. Sin embargo, esta leguminosa no se da directamente a los animales, antes debe ser sometida a un proceso industrial donde se le extrae la mayor parte del aceite que contiene, y el residuo que queda en forma de harina es el que se emplea como alimento para el ganado.
- Harina de ajonjolí: ocupa el tercer lugar entre los subproductos de la industria de aceites vegetales. Su utilización en raciones alimenticias para animales se ha hecho en reemplazo de la harina de soya, en donde se obtienen muy buenos resultados en cuanto a crecimiento y aumento de peso.
- Harina de palmiste: es un producto resultante de la extracción del aceite de la almendra de la palma africana. Se viene utilizando en dietas de ganados desde hace varios años con muy buenos resultados (Oliveros, 2014).

7.3.3. Materias primas de origen animal

Acorde a Reyes y Martínez (2009), estos tipos de alimentos son muy ricos en proteínas de alto valor biológico, ya que contienen todos los aminoácidos esenciales y en proporciones adecuadas. Su uso en la alimentación animal tiene como fin complementar otras fuentes de proteínas, como las procedentes de las harinas oleaginosas, aumentar el valor biológico de estas fuentes. Su participación en las raciones debe ser controlada debido a su alto costo, empleándose con más frecuencia en raciones para cerdos y aves. Entre las más importantes se tiene.

- Harina de pescado: alto nivel proteico, a pesar de su mejoramiento en los niveles proteicos de la ración, su uso es más frecuente en cerdos; su elevado costo no permite abusos en las cantidades.
- Harina de carne y hueso: tiene un buen valor proteico, es utilizado como complemento en raciones de cerdos y aves.
- Harina de plumas: este subproducto tiene un alto contenido en materia seca (95 %) y como las demás harinas de origen animal, su aporte proteico es elevado (76 %). Las plumas están formadas por una proteína del grupo de las queratinas, que son poco digestibles. Cuando estas proteínas se someten a la acción del calor húmedo a presiones elevadas o a la de ciertos ácidos, como el clorhídrico, se produce su hidrólisis, es decir, se modifica su estructura y se hacen más digestibles (Reyes, y Martínez, 2009).

7.3.4. Aditivos

Para Oliveros (2014), estas sustancias o compuestos preparados, son incorporados en los alimentos de los animales para que influyan en las características de los alimentos como producto terminado; en el control sanitario o en la producción directa de los animales. Se clasifican en varios grupos, según la función que desempeñen:

- Aglomerantes: mejoran la calidad de los gránulos, entre ellos se pueden mencionar arcillas de color blanco u otros silicatos libres de amianto.
- Aromatizantes y saborizantes: mejoran el olor y sabor de ciertas materias primas desagradables, entre ellos están las esencias de perejil, pimienta, raíz de regaliz, timol, entre otras.
- Antioxidantes: se incorporan a los piensos para proteger a las grasas de la oxidación y retardar su enranciamiento.

- Emulsificantes: se utilizan para que una sustancia en emulsión sea homogénea.
- Conservantes: buscan evitar el enmohecimiento de los piensos, los más utilizados son los ácidos propiónico, sórbico, málico, fumárico y diversas sales de ellos.
- Pigmentos: se utilizan para dar mayor color a la piel de los pollos, a la yema del huevo y a la carne de las truchas, hay pigmentos naturales como el pigmentón, y sintéticos como los carotenoides y xantofilas, preparados por la industria química.
- Oligoelementos y vitaminas: son necesarias en pequeñísimas cantidades en la alimentación animal. Su importancia radica en el papel que desempeñan en el organismo, los trastornos que origina su carencia y la forma que se pueden administrar a los animales.
- Antibióticos: dentro de los efectos beneficiosos comprobados se tiene un crecimiento más rápido, disminución de la mortalidad, menores pérdidas por enfermedades y mejor índice de conversión de alimentos, siempre y cuando se utilicen en menores cantidades a las utilizadas para el tratamiento de enfermedades. Los más utilizados son: bacitracina, avilamicina, tilosina, flovifosfolipol y monensina. Su función principal es ser promotores de crecimiento (Oliveros, 2014).

7.4. Centrales térmicas a base de biomasa

Una central térmica a base de biomasa es aquella que aprovecha la energía química contenida en una cantidad determinada de compuestos orgánicos, y que es liberada como energía térmica mediante un proceso de combustión. Dicho calor se utiliza para convertir un fluido de trabajo en vapor, generalmente agua. En primer lugar, una planta de este tipo debe disponer de un sistema de pre-tratamiento de biomasa, cuyos principales fines son disminuir

la humedad, adecuar el tamaño y la uniformidad, para uniformizar las condiciones de entrada a la caldera y conseguir así la mayor eficiencia del sistema de combustión (Garrido, 2013).

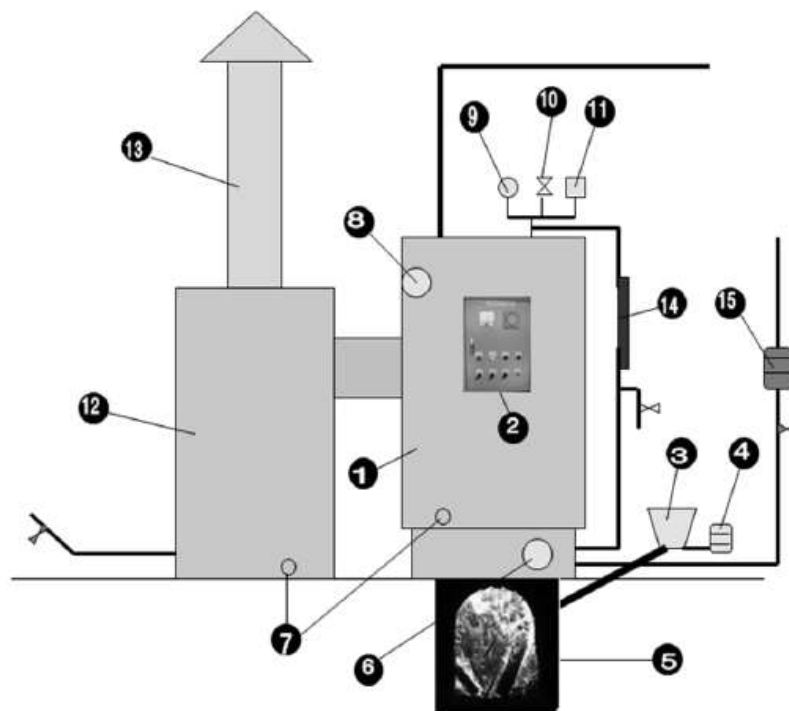
Una vez se tenga liberada la energía térmica en un horno apropiado, los gases liberados en la combustión, compuestos por CO₂ y H₂O mayoritariamente junto con otras sustancias sólidas y gaseosas, intercambian su calor en una caldera por la que circula agua, y que es convertida normalmente en vapor a una determinada presión y temperatura. Los gases de combustión de la biomasa atraviesan la caldera cediendo su energía al agua/vapor en diferentes etapas: paredes de agua, sobrecalentador, haz vaporizador, economizador y precalentadores de aire (Garrido, 2013).

Según Villatoro (2014), una caldera de sólidos o biomasa es aquella que puede funcionar con básicamente cualquier objeto que se quemé. Sin embargo, deben tomarse en cuenta tres aspectos importantes: el poder calorífico, la vida útil de la caldera y el impacto ambiental. Las partes de una caldera (ver figura 4) son las siguientes:

1. Cuerpo de la caldera
2. Panel de control
3. Tolva de alimentación
4. Ventilador
5. Cámara de combustión
6. Punto de mantenimiento
7. Punto de mantenimiento
8. Punto de mantenimiento
9. Medidor de presión
10. Válvula de seguridad

- 11. Sensor de presión
- 12. Filtro
- 13. Chimenea
- 14. Medidor de nivel de agua
- 15. Bomba de agua

Figura 4. Partes de una caldera de biomasa



Fuente: VILLATORO, K. *Implementación de una caldera de biomasa en el departamento de tintorería de una empresa textil.* p. 36.

El vapor a presión formado en la caldera es transportado entonces hasta una turbina, donde se expande, produciéndose una nueva transformación energética por la cual la energía potencial contenida en el vapor a presión se convierte primero en energía cinética, y después en energía mecánica rotativa.

El eje de dicha turbina, se conecta a un generador eléctrico el cual transforma la energía mecánica rotativa en eléctrica (Garrido, 2013).

La salida del vapor de la turbina se efectúa en condiciones de vacío, para aumentar hasta el máximo posible la transformación de energía térmica en energía mecánica. Las presiones oscilan entre 0,06 y 0,120 bar absolutos. El vapor se condensa mediante un condensador, evacuándose el calor latente de condensación bien a un circuito de agua de refrigeración abierto, a un circuito semicerrado con torre de refrigeración, o directamente a la atmósfera mediante un aerocondensador (Garrido, 2013).

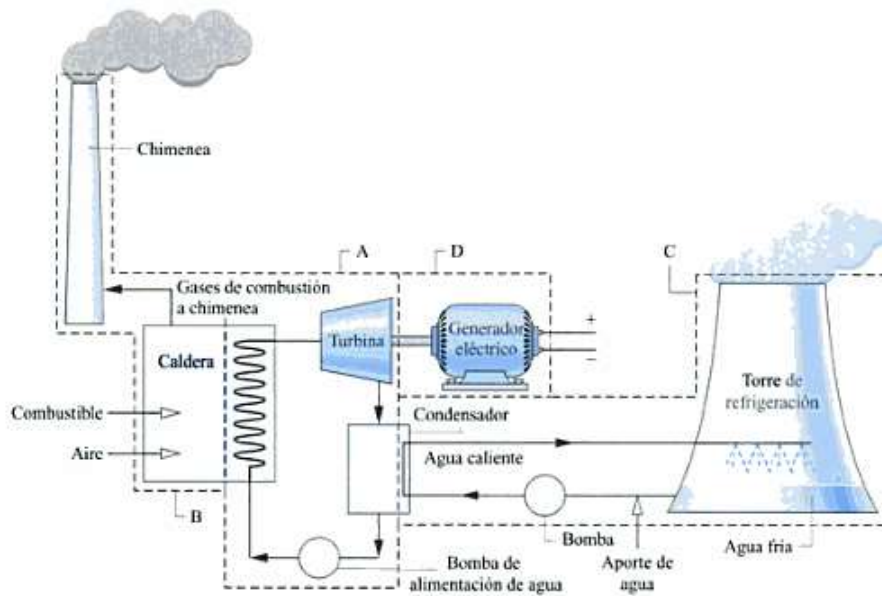
El agua condensada, denominada habitualmente condensado, se bombea mediante unas bombas centrífugas colocadas a la salida del condensador, hasta el desgasificador térmico, el cual es uno de los equipos que componen el ciclo agua-vapor y que se encarga de eliminar los gases disueltos en el agua perjudiciales para el circuito. La desgasificación se produce por la adición de calor proveniente de una extracción de la turbina, con lo que por un lado se consigue elevar la temperatura del agua antes de entrar en la caldera, y por otro, se consigue liberar los gases disueltos (CO_2 , O_2 y N_2 principalmente) por la menor solubilidad de estos gases en caliente (Garrido, 2013).

Las bombas de alimentación o de alta presión, toman el agua contenida en el desgasificador, y lo impulsan hasta la entrada de la caldera a una presión ligeramente superior a la presión existente en el calderín de evaporación, cerrando de esta forma completamente el ciclo agua-vapor (Garrido, 2013).

Conforme a Morán y Saphiro (2005), la mayoría de las centrales generadoras de electricidad son variaciones de centrales térmicas en las que el

fluido de trabajo es el agua. En la figura 5 se muestran esquemáticamente los componentes básicos de una central térmica de vapor simplificada.

Figura 5. **Componentes básicos de una central térmica**



Fuente: MORAN & SAPHIRO. *Fundamentos de termodinámica técnica*. p. 10.

Para facilitar el análisis termodinámico, la planta global puede descomponerse en 4 subsistemas principales, identificados para mayor facilidad con las letras A, B, C y D: el subsistema A es la conversión de calor en trabajo, es decir el fluido de trabajo hace girar la turbina. El subsistema B es la transferencia de calor necesario al fluido para convertirlo en vapor. El subsistema C es la condensación del fluido de trabajo y retorno al inicio del ciclo, y el subsistema D es la generación de energía eléctrica, por medio del trabajo realizado por la turbina. (Morán y Saphiro, 2005).

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES GENERALES

- 1.1. Alimentos para Animales, S. A.
- 1.2. Gestión actual de los desechos sólidos de producción
- 1.3. Diagnóstico de impactos ambientales

2. MARCO TEÓRICO

- 2.1. Combustión directa en biomasa
- 2.2. Tipos de biomasa
- 2.3. Composición de concentrados para animales
- 2.4. Centrales térmicas a base de biomasa

3. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

- 3.1. Muestreo
- 3.2. Estimación de residuos generados
- 3.3. Resultados de laboratorio
- 3.4. Caracterización de residuos

4. EVALUACIÓN TÉCNICA

4.1. Resultados experimentales

4.2. Análisis del proceso

4.3. Maquinaria y equipo

4.4. Factibilidad técnica

5. EVALUACIÓN ECONÓMICA

5.1. Proyección de inversiones

5.2. Proyección de costos de operación

5.3. Proyección de ahorros

5.4. Indicadores económicos

5.5. Factibilidad económica

6. RESULTADOS

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

Esta investigación es un estudio descriptivo con enfoque cuantitativo, ya que se determinarán las características de los residuos de concentrados y su capacidad de producir energía, también es de tipo correlacional porque se investigará la relación existente entre las variables escogidas.

La investigación constará de cinco fases, las cuales se describen a continuación:

9.1. Primera Fase: investigación bibliográfica

- Se realizará la investigación bibliográfica pertinente, recopilando toda la información disponible tanto física como digital.
- Se recopilará información acerca de la combustión de biomasa, composición de concentrados para animales, aprovechamiento de residuos, maquinaria y equipo para producir energía a base de biomasa.
- Las variables de la investigación, serán las siguientes:
 - Variable dependiente: la energía que se puede extraer por cada kilogramo de residuos (poder calorífico).
 - Variables independientes: son todas las variables referentes a la composición fisicoquímica que puedan tener los residuos sólidos y que afecten a la variable independiente, estas son:

- Composición de carbono
 - Porcentaje de humedad
 - Densidad
 - Temperatura de combustión
 - Porcentaje de cenizas
- Materiales y equipo: se utilizarán como fuentes de información libros, tesis, revistas, artículos, internet, entre otros.
 - Fórmulas y ecuaciones (ver marco teórico)

$$C = ms$$

$$q = ms\Delta t$$

$$q = C\Delta t$$

9.2. Segunda Fase: muestreo

- Se realizarán dos muestreos aleatorios a la semana de los residuos de concentrados durante un tiempo de 1 mes y medio para hacer un total de 10 muestras.
- Estas muestras serán trasladadas a un laboratorio del Ministerio de Energía y Minas, donde se llevará a cabo el análisis para determinar sus características fisicoquímicas y la relación de las variables independientes con la dependiente, de manera que se pueda visualizar la relación que existe entre ellas.
- Materiales y equipo

- El residuo sólido propiamente dicho
 - Vehículo para traslado
 - Bolsas para muestras
 - Guantes
 - Mascarilla
 - Equipo de laboratorio (tercerizado)
- Tablas de información

Tabla IV. **Toma de datos**

Variable	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Poder calorífico				
Porcentaje Carbono				
Porcentaje Humedad				
Densidad relativa				
Temp. Combustión				
Porcentaje Cenizas				

Fuente: elaboración propia.

9.3. Tercera Fase: análisis de información

- Se realizará un cotejo de los resultados del análisis anterior, con investigaciones previas donde se utilice biomasa como combustible para producir energía, como el bagazo de caña, madera de eucalipto y cultivos agrícolas. Esto servirá como punto de comparación para tener una mejor perspectiva del potencial de los residuos y de sus debilidades en el momento de realizar la combustión.

- Teniendo ya las características del material, la comparación con otros biocombustibles y la cantidad de energía que se puede extraer por kilogramo, se procederá a investigar la cantidad mensual que se genera de residuos sólidos en la planta. Para esto se realizará la verificación del pesaje de los residuos en báscula, durante un tiempo de 6 meses para fijar un promedio.
- Fórmulas: para esta fase se realizará un análisis estadístico y gráfico de la información recopilada.
- Materiales y equipo
 - Báscula camionera
 - Personal de pesaje
 - Equipo de cómputo
 - Vehículo para transporte
 - Sacos para traslado de residuos

9.4. Cuarta Fase: evaluación técnica

- Se efectuarán los cálculos de la maquinaria y equipos necesarios para realizar combustión de los residuos con base en los resultados de sus características fisicoquímicas dados por el laboratorio.
- Se realizará un análisis de las capacidades que deberá tener el equipo para biomasa dependiendo de la cantidad de desecho que se genera.

- Se ejecutarán pruebas de la combustión de residuos de los concentrados en una fábrica tercera que utiliza equipo con biomasa para generar energía, para corroborar su funcionalidad.
- Los indicadores a utilizar serán los siguientes:
 - Poder calorífico promedio mayor o igual a 15 000 kJ/kg.
 - Cantidad de residuos generada no menor al 50 % de la capacidad del equipo a utilizar.
 - Porcentaje de humedad menor al 30 % en promedio.
 - Porcentaje de cenizas menor al 10 % en promedio.
- Materiales y equipo
 - Equipo para combustión de biomasa (tercerizado)
 - Vehículo para transporte
 - Sacos para traslado de residuos
 - Papelería y útiles
 - Equipo de oficina
 - Resultados de laboratorio

9.5. Quinta Fase: evaluación económica

- Se realizará un análisis económico si se realizara el proyecto, tomando en cuenta la inversión necesaria de todos los equipos analizados, así como los costos de instalación y operación.

- Se determinará el tiempo de retorno de la inversión, mediante los ahorros por aprovechamiento de los residuos propios y menor consumo de combustibles fósiles.

- Los indicadores a utilizar serán los siguientes:
 - Costo de utilizar los residuos debe ser menor al costo actual de descartarlos.
 - Tiempo de retorno de la inversión menor o igual a dos años.

- Materiales y equipo
 - Papelería y útiles
 - Equipo de oficina

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

A continuación se presentan las técnicas de análisis de información.

- Muestreo para determinar las características de los residuos sólidos.
- Análisis de correlación que determine cuáles son las características que inciden mayoritariamente en el poder calorífico de los residuos.
- Gráficas comparativas de los resultados del análisis de laboratorio con resultados de otros tipos de biomasa en investigaciones previas, para tener una visión de mayor confianza en las capacidades energéticas de este material.
- Medición de la cantidad promedio de residuos que genera la fábrica, lo cual servirá para calcular las capacidades que deberán tener los equipos que lleven a cabo el proceso de combustión.
- Análisis técnico de la maquinaria y equipos necesarios para extraer energía de los residuos sólidos, según indicadores en metodología.
- Evaluación económica del proyecto, la cual servirá para determinar su rentabilidad, según indicadores en metodología.

11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

FASE	ACTIVIDAD	Del 1 al 30 de Abril	Del 1 al 30 de Mayo	Del 1 al 30 de Junio	Del 1 al 31 de Julio	Del 1 al 31 de Agosto	Del 1 al 30 de Septiembre	Del 1 al 30 de Octubre	Del 1 al 18 de Noviembre
		Sem.1 Sem.2 Sem.3 Sem.4	Sem.1 Sem.2 Sem.3 Sem.4 Sem.5	Sem.1 Sem.2 Sem.3 Sem.4 Sem.5	Sem.1 Sem.2 Sem.3 Sem.4	Sem.1 Sem.2 Sem.3 Sem.4 Sem.5	Sem.1 Sem.2 Sem.3 Sem.4 Sem.5	Sem.1 Sem.2 Sem.3 Sem.4 Sem.5	Sem.1 Sem.2 Sem.3
1.	Recopilación de toda la información física y bibliográfica								
2.	Muestreo								
	Toma de muestras								
	Ensayos de laboratorio								
	Cotejo de resultados con otras investigaciones								
3.	Análisis de Información								
	Elaboración de gráficas y estadísticas								
	Estimación de la cantidad mensual de desechos								
4.	Evaluación Técnica								
	Cálculo de maquinaria y equipo								
	Ejecución de pruebas en equipo real								
5.	Evaluación Económica								
	Proyección de inversiones y costos								
	Proyección de ahorros y análisis económico								

Fuente: elaboración propia.

12. RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

A continuación se presentan los recursos necesarios y factibilidad del estudio

- Se cuenta con el permiso y apoyo de la fábrica de concentrados para la realización de este proyecto.
- El recurso humano necesario es el autor de esta investigación y el apoyo del personal de la fábrica de concentrados Aliansa.
- El equipo necesario será proporcionado por el laboratorio del Ministerio de Energía y Minas y por una empresa tercera que posee equipos a base de biomasa.
- Se cuenta con el recurso financiero que se muestra a continuación:

Tabla V. Recursos económicos

RUBRO	PRESUPUESTO (Q)
Costo de muestreo	300,00
Costo de laboratorio	1 500,00
Costo de transporte y viáticos	2 000,00
Sueldos	5 000,00
Costo de asesoría técnica	2 500,00
Total	11 300,00

Fuente: elaboración propia.

- Parte de los gastos serán cubiertos por el autor de la investigación, y parte por la empresa, por tal razón, sí es factible realizar la investigación.

13. BIBLIOGRAFÍA

1. Arango, A. *Cálculo de costos de la fabricación de un concentrado a partir de cachaza*. Guatemala.
2. Biomass Users Network of Central America (2002). *Manuales sobre energía renovable Biomasa*. San José, Costa Rica.
3. Carrasco, J. (2008). *Combustión directa de la biomasa*. S.L.
4. *Combustión Directa* (2014). Recuperado el 1 de octubre de 2015, de: <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/COMBUSTION-DIRECTA.pdf>.
5. De León, J. (2010). *Estudio de factibilidad para producción de energía eléctrica, a partir de biomasa de eucalipto*. Guatemala.
6. Elías, X. y Bordas, S. *Energía, agua, medioambiente, territorialidad y sostenibilidad*. España: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
7. Garcés, R. y Martínez, S. (2006) *Estudio del poder calorífico del bagazo de caña de azúcar en la industria azucarera de la zona de Risaralda*. Colombia.
8. García, M. (2009). *Análisis termo-económico de una central cogeneradora con biocombustibles*. Guatemala.

9. García, R. (2008). *Caracterización energética de Guatemala*. Guatemala.
10. Garrido, S. (2013). *Centrales termoeléctricas de biomasa*. Recuperado el 20 de octubre de 2015 de: <http://www.plantasdebiomasa.net/index.php/centrales-termoelectricas-de-biomasa>.
11. Manual del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2011). *Evaluación del potencial de energía de la biomasa*. Madrid.
12. Monroy, C. (2005). *Propuesta de utilización de residuos de palma de aceite como combustible para generar energía eléctrica*. Guatemala.
13. Morán, M. y Shapiro, H. (2005). *Fundamentos de termodinámica técnica*. (2ª Edición) Barcelona: Editorial Reverté S.A.
14. Muñoz, F. (2007) *Central energética de biomasa forestal*. Chile.
15. Oliveros, C. (2014). *Tecnología de alimentos balanceados para animales*. Recuperado el 1 de octubre de 2015, de: http://www.academia.edu/4758114/TECNOLOG%8DA_DE_ALIMENTOS_BALANCEADOS_PARA_ANIMALES
16. Prando, R. (2014). *Energías renovables en la industria de procesos*. Recuperado el 1 de octubre de 2015, de: www.fing.edu.uy/iq/cursos/qica/industria/EERR-ConceptosBasicos.pdf.

17. Reyes, L. y Martínez, P. (2009) *Alimentos balanceados para animales*. Recuperado el 1 de octubre de 2015, de <http://es.scribd.com/doc/49045728/Alimentos-Balanceados-Para-Aniamles#scribd>
18. Royo, J. y Nogués, F. (2002). *Ciclo energías renovables, jornadas de biomasa*. España.
19. Ruiz, J. (2013) *Análisis de la problemática e investigación de aspectos avanzados de la generación eléctrica con biomasa*. Logroño, España.

