



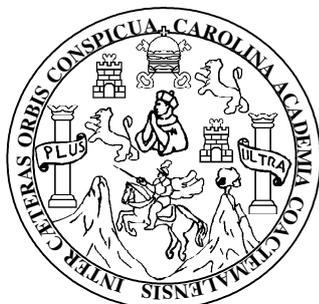
Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE PALMA DE
ACEITE COMO COMBUSTIBLE PARA GENERAR ENERGÍA
ELÉCTRICA**

Carlos Alberto Monroy Ramos
Asesorado por **Ing. Francisco Javier González López**

Guatemala, Septiembre del 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE PALMA DE
ACEITE COMO COMBUSTIBLE PARA GENERAR ENERGÍA
ELÉCTRICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

CARLOS ALBERTO MONROY RAMOS
ASESORADO POR ING. FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DEL 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	INGENIERO MURPHY OLYMPO PAIZ RECINOS
VOCAL I	
VOCAL II	LICENCIADO AMAHÁN SÁNCHEZ ÁLVAREZ
VOCAL III	INGENIERO JULIO DAVID GALICIA CELADA
VOCAL IV	BACHILLER KENNETH ISSUR ESTRADA RUIZ
VOCLA V	BACHILLER ELISA YAZMINDA VIDES LEIVA
SECRETARIA	INGENIERA MARCIA IVONNE VÉLIZ VARGAS

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	INGENIERO SYDNEY ALEXANDER SAMUELS MILSON
EXAMINADOR	INGENIERO MANUEL FERNANDO BARRERA PÉREZ
EXAMINADOR	INGENIERO MARVIN MARINO HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ
EXAMINADOR	INGENIERO CARLOS FANCISCO GRESSI LÓPEZ
SECRETARIO	INGENIERO PEDRO ANTONIO AGUILAR POLANCO

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**Propuesta de utilización de residuos de palma de aceite como
combustible para generar energía eléctrica,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con fecha 21 de abril 2004.

Carlos Alberto Monroy Ramos

DEDICATORIA A:

MI DIOS

Por darme la salud y sabiduría para enfrentar los problemas.

MIS PADRES

Hilario Monroy Pocon
Angélica Esperanza Ramos

Por todos los sacrificios que hicieron por mis estudios, infinitamente gracias ya que sin su ayuda, no hubiera podido educarme y no estaría llegando a esta meta tan anhelada.

MIS HERMANOS

Félix Moisés, Aura Estela, Gladis Esperanza, Luis Enrique, Hilario Jonatan

MIS AMIGOS

Aramis Benjamín, Germán Contreras, Carlos Eduardo entre otros.

ING. FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ LÓPEZ

Por haberme ayudado en la búsqueda y asesoría del trabajo de graduación.

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

A la Facultad de Ingeniería, y Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

**AL HOMBRE LE TOCA HACER SUS PLANES
Y A DIOS DIRIGIR SUS PASOS**

Prov.16:9

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	I
LISTA DE TABLAS.....	I
GLOSARIO.....	III
OBJETIVOS.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	IX

1. GENERALIDADES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

1.1 Centrales de generación.....	1
1.1.1 Clasificación de centrales de generación.....	2
1.1.2 Transformaciones de energía en centrales de generación.....	3
1.1.3 Centrales termoeléctricas.....	4
1.1.3.1 Equipo principal de una central termoeléctrica.....	5
1.1.3.2 Equipo auxiliar de una central termoeléctrica.....	6
1.1.3.3 Sistema de flujo de una central termoeléctrica.....	7
1.2 Generador de vapor.....	8
1.2.1 Descripción.....	8
1.2.2 Combustión de un generador de vapor.....	8
1.2.3 Partes principales de un generador de vapor.....	9
1.3 Turbina de vapor.....	13
1.3.1 Principio de operación.....	13
1.3.2 Partes principales.....	14
1.4 Generador eléctrico.....	14
1.4.1 Funcionamiento del generador eléctrico.....	14
1.5 Condensador.....	15

1.6	Sistema de alimentación y extracción de agua.....	16
-----	---	----

2. BASES TÉCNICAS PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA CON RESIDUOS DE PALMA DE ACEITE

2.1	El cultivo de la Palma de Aceite en Guatemala.....	17
2.1.1	Regiones de cultivo de Palma de Aceite.....	17
2.1.2	Producción de residuos de Palma de Aceite por hectárea.....	19
2.2	Determinación de características energéticas.....	19
2.2.1	Prueba del poder calorífico del residuo de Palma de Aceite.....	20
2.2.2	Prueba de humedad del residuo de Palma de Aceite.....	21
2.2.3	Prueba de ceniza del residuo de Palma de Aceite.....	22
2.3	Ventajas del residuo de Palma de Aceite.....	22
2.3.1	Los residuos de Palma de Aceite como una fuente renovable de energía.....	24
2.4	Desventajas del residuo de Palma de Aceite.....	25
2.4.1	La limitación principal para este tipo de plantación de Palma de Aceite.....	26

3. ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO PARA GENERAR ENERGÍA ELECTICA APARTIR DE LOS RESIDUOS DE PALMA DE ACEITE COMO COMBUSTIBLE

3.1	Características del sitio.....	27
3.1.1	Acceso.....	27
3.1.2	Infraestructura eléctrica	28
3.2	Volumen disponible de residuos.....	28

3.3	Cálculo de la cantidad de combustible de los residuos de Palma de Aceite, que se utiliza para producir una unidad de energía eléctrica.....	31
3.4	Características de operación de una planta de operación.....	33
3.4.1	Características de operación de los generadores de vapor.....	33
3.4.1.1	Flujo, presión y temperatura.....	33
3.4.1.2	Clasificación de calderas por tipo de circulación.....	34
3.4.1.3	Influencia de la presión sobre los componentes.....	35
3.4.1.4	Aire y gas.....	35
3.4.1.5	Estructura de soporte.....	36
3.4.1.6	Hogar.....	36
3.4.1.7	Pre calentadores de aire.....	37
3.4.1.8	Influencia del combustible.....	38
3.4.1.9	Ventiladores.....	38
3.4.1.10	Quemadores.....	38
3.4.1.11	Chimenea.....	39
3.4.1.12	Domo.....	40
3.4.1.13	Sobrecalentadores y recalentadores.....	40
3.4.1.14	Sistemas de control.....	41
3.4.1.15	Características técnicas de los generadores de vapor.....	42
3.4.2	Características de operación de las turbinas de vapor.....	43
3.4.2.1	Capacidad.....	43
3.4.2.2	Sellos de Vapor.....	43
3.4.2.3	Temperatura y lubricación de cojinetes.....	44
3.4.2.4	Tuberías.....	44
3.4.2.5	Válvulas.....	44
3.4.2.6	Rotor.....	45
3.4.2.7	Eficiencia térmica.....	45
3.4.2.8	Características técnicas de las turbinas.....	47
3.4.3	Características de operación de los generadores eléctricos.....	48

3.4.3.1	Características técnicas de los generadores eléctricos.....	48
3.4.3.2	Características de frecuencia-potencia y voltaje-potencia reactiva de un generador eléctrico.....	50
3.4.3.3	Curvas de capacidad del generador eléctrico.....	53
3.4.4	Características de operación de los condensadores.....	57
3.4.4.1	General.....	57
3.4.4.2	Condiciones para el dimensionado.....	57
3.4.4.3	Características técnicas de los condensadores.....	58
3.4.5	Especificaciones generales del equipo de la planta.....	59
3.5	Análisis Económico	60
3.5.1	Costo de inversión.....	61
3.5.2	Costo de operación y mantenimiento.....	62
3.5.3	Elementos del costo de energía	63
3.5.4	Proyecciones de gastos.....	64
3.5.5	Proyecciones de ingresos.....	66
3.5.6	Indicadores financieros.....	67
3.5.7	Análisis de sensibilidad.....	68

4. IMPACTO AMBIENTAL Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON RESIDUOS DE PALMA DE ACEITE

4.1	Combustión y emisiones.....	71
4.2	Método de incineración.....	72
4.2.1	Contaminación usando el método de incineración en las personas.....	73
4.2.1.1	La ceniza de fondo y volante son contaminantes.....	74
4.2.1.2	Concentraciones gaseosas permitidas en efluentes de plantas de generación.....	74

4.2.1.3 Las incineradoras son fuente de generación de dioxinas y furanos.....	77
4.2.1.4 Rechazo social de la incineración.....	80
4.2.1.5 Médicos contra la incineración.....	81
4.2.2 Contaminación agrícola.....	82
4.2.2.1 Posibles soluciones a la incineración.....	82
4.3 Sistemas para el control de la contaminación atmosférica.....	82
4.3.1 Equipo para controlar las partículas.....	83
4.3.1.1 Precipitador electrostático.....	84
4.3.1.2 Filtro de mangas.....	84
4.3.1.3 Filtro electrostático de grava.....	84
4.3.1.4 Equipo para el control de gases.....	85
4.3.1.4.1 Depuración húmeda.....	85
4.3.1.4.2 Depuración seca.....	85
4.3.1.4.3 Equipo para el monóxido de carbono y hidrocarburo..	86
4.3.1.4.4 Equipo para el control de dioxinas.....	87
CONCLUSIONES.....	89
RECOMENDACIONES.....	91
REFERENCIAS.....	93
BIBLIOGRAFÍA.....	95
ANEXOS.....	97

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	La transformación de energía en una central de generación.....	2
2	Transformaciones de energía en los tipos de centrales de generación.....	3
3	Transformaciones de energía en una central de generación.....	4
4	Equipo principal de una central termoeléctrica.....	6
5	Tubería y equipo que forman un sistema.....	7
6	Combustión en un generador de vapor.....	9
7	Partes principales de un generador de vapor.....	10
8	La caldera.....	11
9	El sobrecalentador.....	11
10	Tobera.....	13
11	Zonas de plantación de Planta de Aceite en Guatemala.....	18

LISTA DE TABLAS

I	Área cultiva de Palma de Aceite.....	18
II	Datos de eficiencia de maquinaria.....	32
III	Supuesto del análisis económico.....	60
IV	Inversión en equipo.....	61
V	Costo de personal.....	62
VI	Elementos del costo de energía generada el primer año.....	63
VII	Análisis económicos de gasto en los primeros cuatro años.....	65

VIII	Ingresos por venta de energía en kwh de los primeros cuatro años.....	67
IX	VAN y TIR.....	67
X	Límites gubernamentales, Condiciones de referencia 11% de O ₂ , 25°C, 1013.kPa.....	74
XI	Normas de calidad del aire para la emisión de H ₂ S.....	75
XII	Efectos del H ₂ S sobre los seres humanos y las plantas.....	76
XIII	Niveles de dioxinas en la leche materna de distintos países.....	78
XIV	Concentración de dioxinas en algunos materiales fuentes comunes.....	80
XV	Comparación de costos entre generar energía usando residuos de Palma de Aceite y otras formas de generación.....	98
XVI	Comparación entre usar residuos de Palma de Aceite para generar energía eléctrica y plantas térmicas.....	99
XVII	Venta de toda la energía producida por la planta termoeléctrica.....	102
XVIII	Venta de solo la mitad de la energía excedente de la planta termoeléctrica.....	103
XIX	No se vende el excedente de la energía de la planta termoeléctrica.....	104

GLOSARIO

Alabe	Paleta de una turbina
Amperaje	Intensidad de una corriente eléctrica medida en amperios
Amperio	Unidad práctica de la intensidad de las corrientes eléctricas
Caldera	La caldera es una parte o elemento que absorbe calor, perteneciente al generador de vapor
Centrales de generación	Es una instalación completa con el objetivo de producir energía eléctrica
Centrales termoeléctricas	Es una instalación que produce energía eléctrica aprovechando la energía del calor
Combustión	Acción o efecto de quemar o arder
Condensar	Reducir el volumen. Volver líquido el vapor
Condensador	Que condensa o reduce. Aparato para condensar una fuerza eléctrica

Economizador	Es un elemento que absorbe calor en el generador de vapor, aprovecha el calor de los gases antes que se escapen a la atmósfera
Energía	Facultad que tiene un cuerpo de producir trabajo
Chimenea	Conducto para dar salida al humo del hogar
Generador eléctrico	Máquina que transforma la energía mecánica en eléctrica
Generador de vapor	Es un conjunto de elementos integrados y dispuestos para realizar una combustión, para liberar energía en forma de calor y producir vapor con determinadas características de presión y temperatura
Gases	Cuerpo aeriforme a la temperatura y presión ordinaria
Hogar	Sitio donde se enciende cualquier combustible
Incineración	Acción y efecto de quemar
Palma de Aceite	Fruta que contiene gasas vegetales proveniente de África, llamado palma africana
Estación eléctrica	Instalación eléctrica que alimenta una red de distribución de energía

Turbina de vapor

Es una máquina que convierte la energía del vapor en trabajo mecánico en una central termoeléctrica este trabajo se emplea para mover un generador eléctrico que transforma el trabajo en energía eléctrica

Transformador

Que transforma o modifica, es el aparato que sirve para cambiar una corriente eléctrica alterna en otra de la misma frecuencia pero tensión diferente

OBJETIVOS

GENERAL

Efectuar un estudio energético y técnico-económico para proponer a los residuos de Palma de Aceite, como combustible para generar energía eléctrica.

ESPECIFICOS

- ✓ Investigar acerca del equipo para la generación de energía eléctrica a partir de los residuos de Palma de Aceite.
- ✓ Determinar las características energéticas de la Palma de Aceite.
- ✓ Determinar las características de operación del equipo utilizado en la generación eléctrica de una central termoeléctrica.
- ✓ Encontrar el costo estimado del equipo utilizado de la generación de energía eléctrica para los residuos de Palma de Aceite.
- ✓ Encontrar el costo de operación y mantenimiento de generación.
- ✓ Encontrar el costo de la energía generada por los residuos.
- ✓ Comparar la economía de la generación de energía eléctrica entre la Palma de Aceite y otras formas de generación.
- ✓ Determinar en que forma se afecta el medio ambiente por la incineración de los residuos.
- ✓ Determinar los sistemas para la mitigación de la contaminación ambiental.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el aumento progresivo de población ha llevado en aumento el número de industrias y, también, a la necesidad de buscar otros métodos para generar energía eléctrica. En este trabajo de graduación se pretende investigar la factibilidad de generar energía eléctrica con los residuos de Palma de Aceite -PALMA AFRICANA- para proporcionar una solución paralela a esta demanda y, también, obtener menores costos en la generación de energía eléctrica.

Se pretende lograr conocer las bases científicas de la ingeniería, sobre las que se fundamenta la generación de energía eléctrica con los residuos de Palma de Aceite, realizar una serie de pruebas como son: poder calorífico, de humedad, y prueba de ceniza por la Unidad de Análisis Instrumental (UAI) de la Escuela de QUÍMICA en la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizar una evaluación técnico-económica entre el esquema de generación con los residuos de Palma de Aceite como combustible y otros sistemas de generación, determinar, también, el impacto ambiental para poder aplicar en Guatemala este tipo de planta de generación de energía eléctrica, a partir de los residuos de Palma de Aceite y sistemas para el control de contaminación.

Se busca aprovechar la conversión de los residuos de Palma de Aceite en energía térmica por medio de la incineración. Esta energía, procedente de la incineración, se aplica en los procesos térmicos para la alimentación de calderas que producen vapor, originando una diferencia de presión que le dará la energía a la turbina para asegurar la transformación en energía mecánica de rotación y, así, mover, mecánicamente, el generador de energía eléctrica.

1. GENERALIDADES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

1.1 Centrales de generación

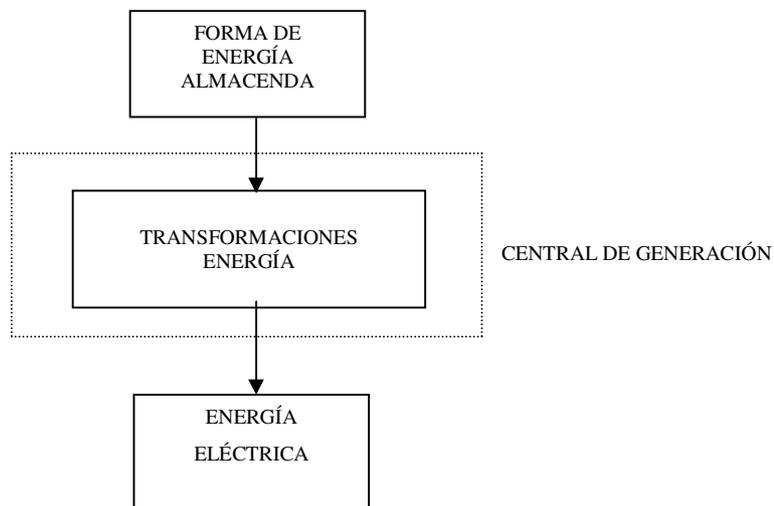
Toda central de generación es una instalación capaz de convertir la energía mecánica, obtenida mediante otras fuentes de energía primaria, en energía eléctrica.

En general, la energía mecánica procede de la transformación de la energía potencial de agua almacenada en un embalse; de la energía térmica suministrada al agua mediante la combustión del carbón, la combustión de residuos agrícolas (residuo de caña, residuo de Palma de Aceite, etc.), la combustión de gas natural, la combustión de derivados del petróleo (búnker, etc.), o a través de la energía de fisión del uranio.

Para realizar la conversión de energía mecánica en eléctrica, se emplea un generador eléctrico, una turbina que es la encargada de mover el rotor del generador eléctrico y producir corriente eléctrica. La turbina a su vez es accionada por la energía mecánica del vapor de agua a presión o por un chorro de agua.

Todas las centrales eléctricas constan de un sistema de "turbina-generador" cuyo funcionamiento básico es, en todas ellas muy parecido, variando de unas a otras la forma en que se acciona la turbina, o sea, el modo en que se utiliza la fuente de energía primaria, para convertir la energía contenida en ella en energía eléctrica.

Figura 1. La transformación de energía en una central de generación.



Una serie de transformaciones de energía, da como resultado: la producción de energía eléctrica (figura 1). Todas las transformaciones de energía se practican dentro de la central de generación.

La central debe contar siempre con alguna forma de energía disponible, a partir de la cual se hacen todas las transformaciones necesarias hasta llegar finalmente a la energía eléctrica.

1.1.1 Clasificación de centrales de generación

Según su clasificación existen varios tipos de centrales de generación, como puede verse en la figura 2. La diferencia entre los tipos de centrales está en la forma en que se encuentra la energía disponible y en las transformaciones que se deben efectuar. Por supuesto, el equipo y dispositivos necesarios también son diferentes según el tipo de central.

1.1.2 Transformaciones de energía en centrales de generación

Figura 2. Transformaciones de energía en los tipos de centrales de generación

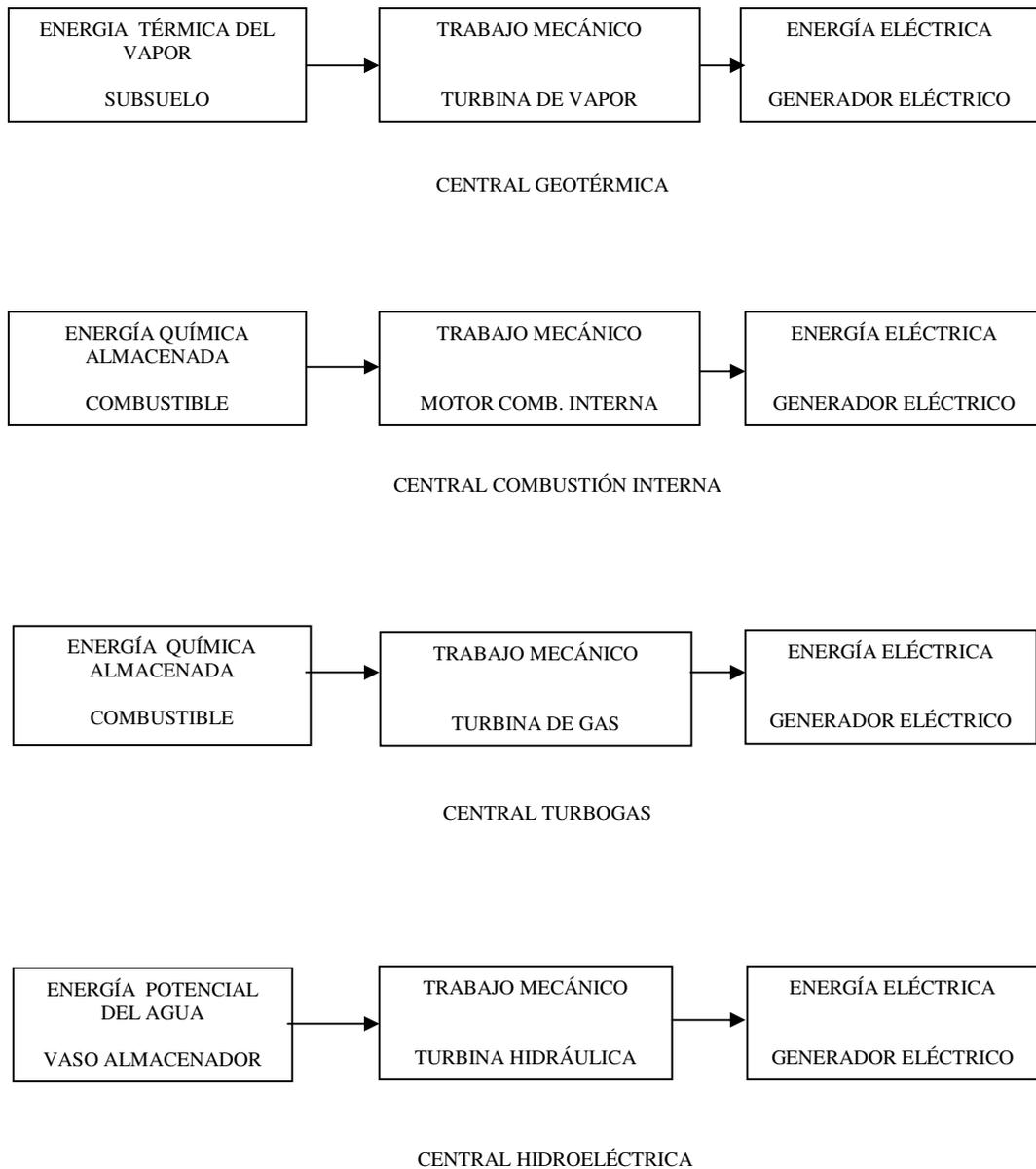
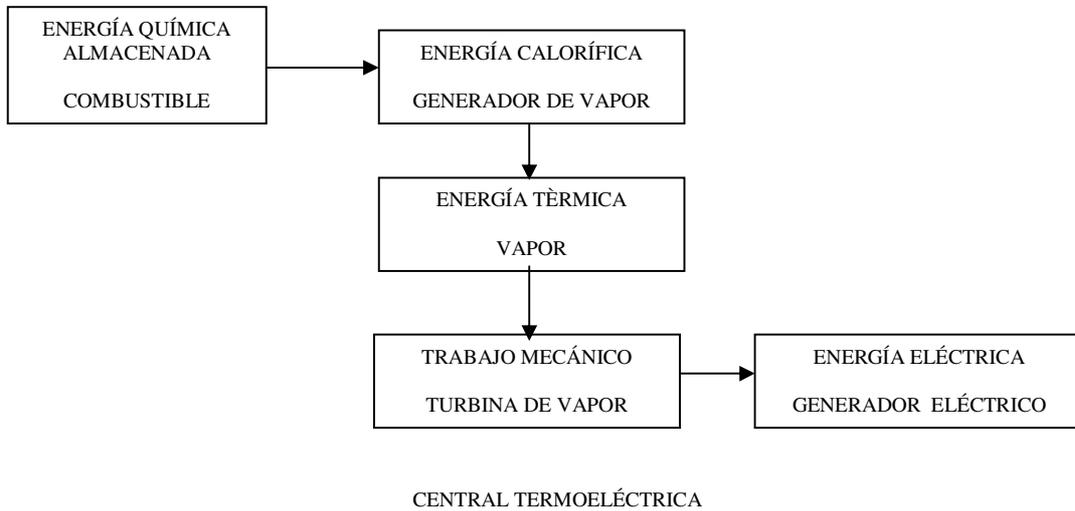


Figura 3. Transformaciones de energía en una central termoeléctrica



1.1.3 Centrales termoeléctricas

La central termoeléctrica es la instalación en donde la energía disponible del combustible se transforma en energía eléctrica.

Una central termoeléctrica se compone de una caldera y de una turbina que mueve el generador eléctrico. La caldera es el elemento fundamental y en el hogar se produce la combustión del residuo agrícola, de la basura, del carbón, fuel o gas.

Al analizar la figura 3, en el punto 1.1.2, las transformaciones de energía que se efectúan en este tipo de central, se observa:

La fuente de energía disponible es un combustible (carbón, diesel, gas, combustible pesado, etc.). La energía, se encuentra almacenada en el combustible según su composición química y se libera haciendo que se produzca una reacción química, que en este caso es la combustión.

Al producirse la combustión, ya se tiene la primera transformación de energía, es decir, que la energía química del combustible se transforma en calor (energía calorífica), en flama y en gases calientes productos de la combustión. La combustión se hace en el generador de vapor y en un dispositivo llamado hogar.

La energía calorífica de los gases se emplea para calentar agua y producir vapor, teniendo la segunda transformación de energía. Los gases ceden parte de su energía al vapor. La energía del vapor se transforma en trabajo mecánico en una turbina, de lo que se tiene la tercera transformación de energía.

Para finalizar, si la turbina está acoplada mecánicamente a un generador eléctrico, se tiene la última transformación de energía y se llega al objetivo de producir energía eléctrica.

Todas las transformaciones de energía citadas se efectúan dentro de una central termoeléctrica, que cuenta con el equipo necesario para hacerlo. Estas transformaciones hacen que la central sea principalmente termoeléctrica y no de otro tipo.

1.1.3.1 Equipo principal de una central termoeléctrica

Todo el equipo de una central termoeléctrica es importante, de acuerdo a la participación directa en la producción de energía eléctrica, así, se clasifica a los siguientes equipos como principales (figura 4)

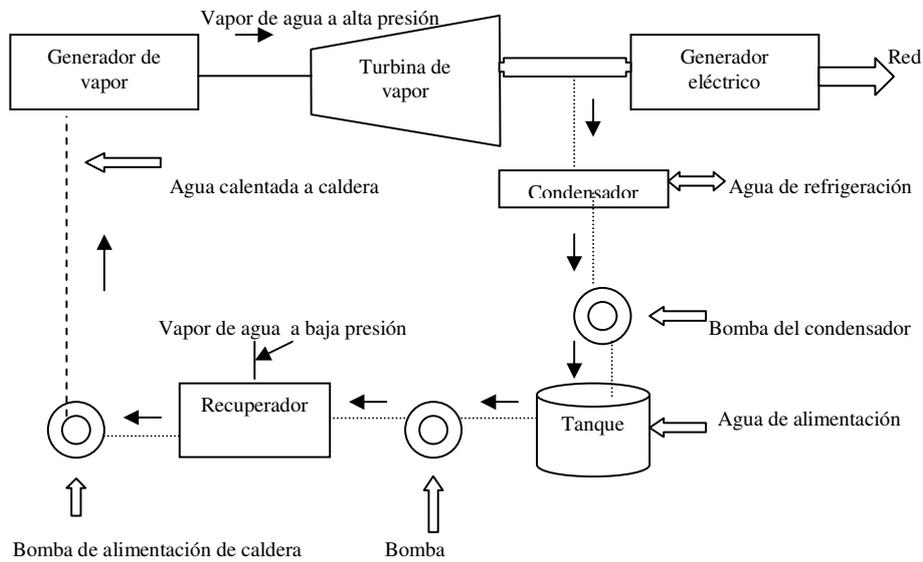
Equipo principal de una central termoeléctrica

a) Generador de vapor

- b) Turbina de vapor
- c) Generador eléctrico
- d) Condensador
- e) Sistemas de alimentación y extracción de agua

En los siguientes apartados se estarán describiendo los anteriores incisos.

Figura 4. Equipo principal de una central termoeléctrica



1.1.3.2 Equipo auxiliar de una central termoeléctrica

El resto de equipo que participa directamente o indirectamente en la producción de energía eléctrica se le clasifica como equipo auxiliar.

Existe una gran variedad de equipo auxiliar de una central termoeléctrica, entre los que tenemos:

- a) Bombas

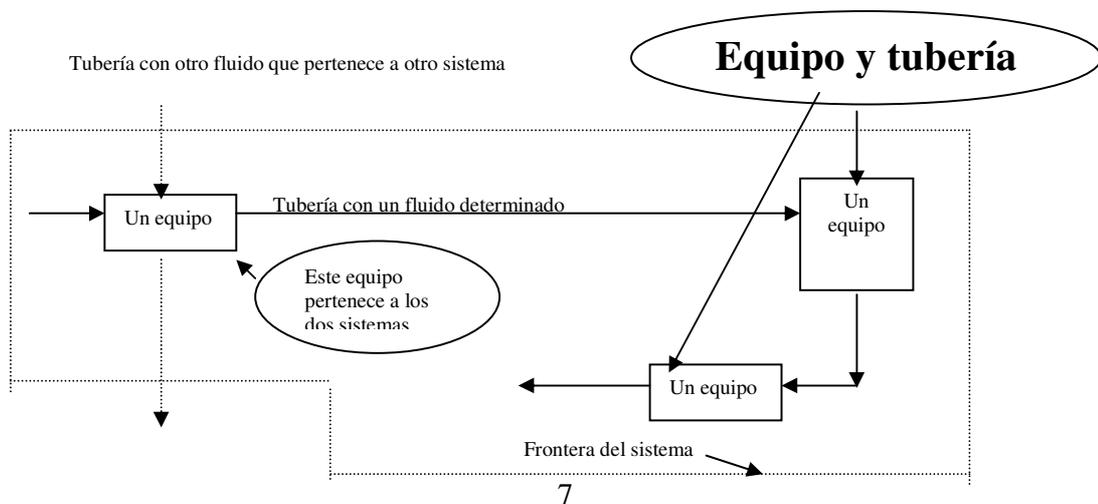
- b) Ventiladores
- c) Extractores
- d) Calentadores
- e) Enfriadores
- f) Compresores
- g) Inyectores
- h) Deareador
- i) Tanques

1.1.3.3 Sistema de flujo de una central termoeléctrica

Se llama sistema de flujo o simplemente “sistema” al conjunto formado por equipo y tuberías que manejan un fluido determinado, que son: agua destilada, agua de mar, agua de enfriamiento, vapor, gases, combustible o cualquier otro requerido en la central. A semejanza con los humanos que tenemos un sistema circulatorio respiratorio, digestivo, etc.

Los sistemas pueden ser: cerrados o abiertos como se aprecia en la figura 5. El equipo principal y auxiliar se integra para formar parte de los dos sistemas de flujo.

Figura 5. Tubería y equipo que forman un sistema



Un mismo equipo puede permanecer en varios sistemas, por ejemplo, el generador de vapor pertenece al sistema de aire, gases de combustión, al sistema de combustible, al de vaporización, el de sobrecalentamiento y otros más.

1.2 Generador de vapor

El objetivo del generador de vapor es, realizar una combustión para liberar energía en forma de calor y producir vapor con determinadas características de presión y temperatura.

1.2.1. Descripción

El generador de vapor es un conjunto de dispositivos integrados y dispuestos de tal forma que realiza una combustión y absorbe el calor de los productos de combustión en forma eficiente.

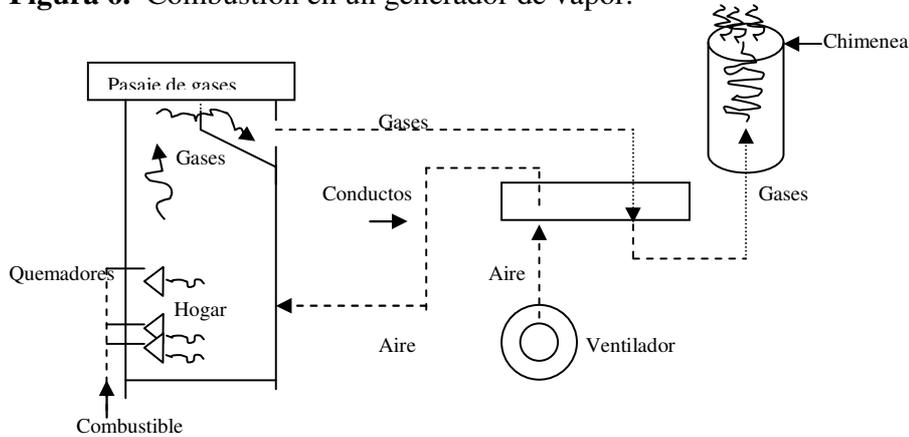
El generador de vapor es un depósito a presión en el cual se bombea agua en estado líquido a la presión de operación, después el calor vaporiza el líquido y el vapor producido queda listo, ya sea para usarse directamente, o para recalentarse en forma adecuada y llevarlo a temperaturas de operación.

1.2.2 Combustión de un generador de vapor

La combustión se produce en un recinto llamado hogar (del combustible y el aire), como puede verse en la figura 6. El combustible puede ser líquido, sólido o gaseoso y se alimenta continuamente al hogar mediante los quemadores y otros dispositivos adecuados.

El aire para la combustión es manejado, por unos ventiladores que lo envían a través de conductos hasta llegar a los quemadores del hogar.

Figura 6. Combustión en un generador de vapor.



La combustión del hogar libera el calor que será aprovechado por determinadas partes del generador de vapor para:

- a) Calentar el agua
- b) Transformar el agua en vapor
- c) Sobrecalentar el vapor

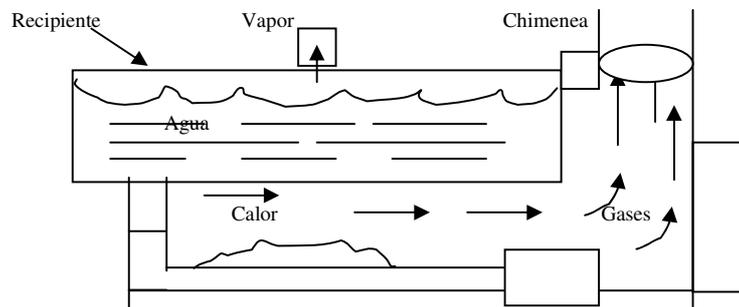
Los gases calientes producto de la combustión salen del hogar y son conducidos por unos pasajes y conductos hasta llegar a la chimenea donde son quemados, para luego escaparse a la atmósfera. En estos pasajes se encuentra equipo del generador de vapor, que requieren de los gases calientes para funcionar, este equipo se detalla en el punto siguiente.

1.2.3 Partes principales del generador de vapor

Las partes principales de un generador de vapor pueden verse en la figura 7. Estas partes absorben calor y son:

la superficie es haciendo recipientes más grandes, lo que no es práctico ni económico, otra forma es sustituir el recipiente por un conjunto de tubos (más superficie), como también haciendo que los gases calientes circulen por el interior de unos tubos que atraviesan el recipiente, estas ultimas dos formas son las más eficientes, para economizar combustible.

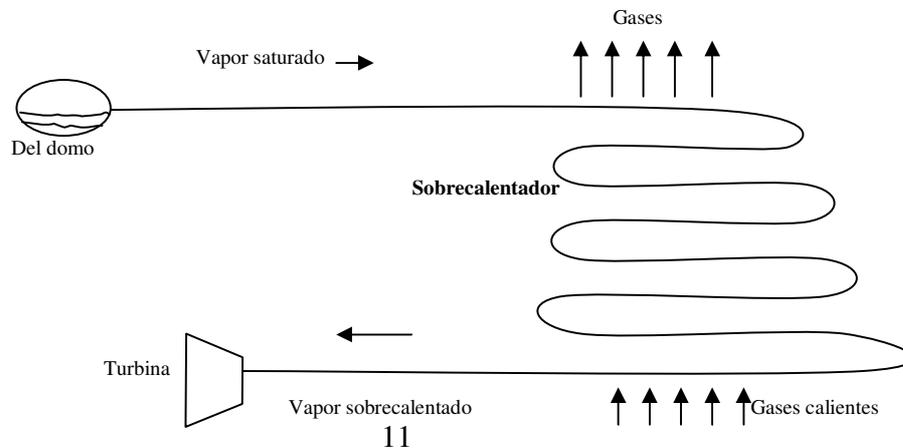
Figura 8. La caldera.



b) Sobrecalentador:

Es el que se encarga de recibir el vapor saturado que sale de la caldera, (figura 9), y lo sobrecalienta hasta la temperatura y presión requerida por la turbina de vapor. El vapor sobrecalentado se dirige a la turbina y va realizando un trabajo al mismo tiempo que va perdiendo su energía.

Figura 9. El sobrecalentador.



Si se usara el vapor saturado que sale de la caldera para enviarlo directamente a la turbina, sin sobrecalentarlo, la pérdida de energía en la turbina producirá condensación (formando humedad), esta humedad es perjudicial para la turbina, por lo que el trabajo que puede efectuar el vapor está limitado por la cantidad de humedad que puede manejar la turbina. Además el uso del sobrecalentador hace que la eficiencia de la central sea mayor.

c) Recalentador:

El vapor que ya trabajó en la turbina, sale con menor presión y temperatura, pero puede volverse a recalentar para seguir aprovechándose y trabajar en las etapas restantes o en otra turbina. El recalentador recibe vapor denominado “Recalentador en frío”, proveniente de la salida de la turbina y lo recalienta en el “Recalentador caliente” a la temperatura requerida por las etapas restantes.

d) Economizador:

El economizador aprovecha el calor de los gases antes que se escapen a la atmósfera por la chimenea. Reciben agua de alimentación “fría” y la calientan hasta una temperatura muy cercana a la de ebullición (saturación) para enviarla a la caldera.

e) Precalentadores de aire:

El uso de aire caliente para la combustión, mejora las condiciones y además aumenta la eficiencia del generador de vapor. Los precalentadores de aire reciben aire frío del exterior y lo calienta para enviarse a los quemadores (hogar).

1.3 Turbina de vapor

La turbina de vapor es una máquina que convierte la energía del vapor en trabajo mecánico. En una central termoeléctrica, este trabajo se emplea para mover un generador eléctrico que transforma el trabajo mecánico a energía eléctrica.

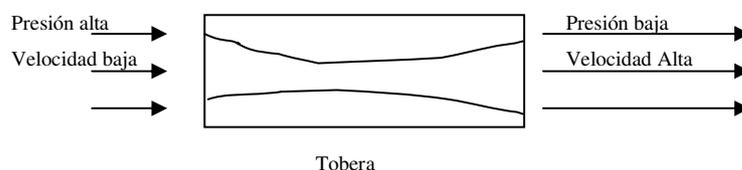
La turbina de vapor es la más simple, más eficiente y completa de las máquinas que usan vapor. Tiene las siguientes ventajas en comparación a otro tipo de máquinas:

- a) Ocupa poco espacio
- b) Ligera en peso
- c) Eficiente
- d) Funcionamiento silencioso y sin vibraciones

1.3.1 Principio de operación

El vapor se conduce por una tobera en donde se expande, obteniendo el flujo de vapor una gran velocidad, la tobera ayuda a reducir la presión pero aumenta la velocidad del flujo del vapor, pasando de presión alta a presión baja y de velocidad baja a velocidad alta, como puede verse en la figura 10.

Figura 10. Tobera.



El vapor de alta velocidad puede ser aprovechado para mover la turbina de vapor en dos formas diferentes:

- a) La tobera se encuentra fija y el flujo de vapor se dirige en contra de una paleta móvil de la turbina. La fuerza del flujo actúa sobre la paleta y la impulsa, produciendo el movimiento de la turbina.

- b) La tobera se encuentra montada en la turbina y puede moverse libremente. La alta velocidad del vapor de salida provoca una reacción en la tobera, haciendo que la turbina se mueva en sentido opuesto al flujo del vapor.

En las dos formas, la energía térmica del vapor se convirtió en trabajo mecánico en la turbina.

1.3.2 Partes principales

Partes principales de una turbina de vapor:

- a) Rotor:
Parte móvil de la turbina que lleva montadas las ruedas con paletas o las toberas móviles (paletas y toberas móviles que se conocen como álabes).

- b) Toberas fijas:
Transforman la presión del vapor en velocidad.

- c) Carcaza:
Cubierta o envolvente de la turbina en donde van montadas las toberas fijas.

1.4 Generador eléctrico

Los generadores sincrónicos o alternadores son máquinas sincrónicas que son los encargados en convertir potencia mecánica en potencia eléctrica de corriente alterna.

1.4.1 Funcionamiento del generador eléctrico

Para que un generador funcione, hace falta una fuente externa de energía (Hidráulica, térmica, nuclear, etc.) que haga que la bobina gire con una velocidad, por ejemplo de 1800 r.p.m. y una fuente externa para que circule una corriente continua en la bobina de campo.

El rotor es el que se encuentra en el interior del estator y gira accionado por la turbina. Está formado en su parte interior por un eje, y en su parte más externa por unos circuitos, que se transforman en electroimanes cuando se les aplica una pequeña cantidad de corriente continua de una fuente externa, en los generadores eléctricos modernos esta fuente de corriente continua ya la trae incorporada.

Cuando el rotor gira a gran velocidad, debido a la energía mecánica aplicada en la turbina y se le aplica al embobinado del rotor una corriente continua (producirá un campo magnético en el rotor), entonces producirá un campo magnético rotatorio dentro de la máquina, este campo magnético inducirá corrientes en los hilos de cobre del interior del estator. Estas corrientes proporcionan al generador la denominada “fuerza electromotriz”, capaz de producir energía eléctrica a cualquier sistema conectado al generador.

1.5 Condensador

Es una gran cámara que se encuentra en la parte inferior del escape de la turbina, la cámara está atravesada por miles de tubos y por el interior de los tubos circula el agua necesaria para el enfriamiento del vapor, el vapor al hacer contacto con los tubos fríos se condensa, formando gotas de agua en la parte inferior. El agua resultante en el condensador, producto de la condensación del vapor de escape, se envía nuevamente al generador de vapor.

1.6 Sistema de alimentación y extracción de agua

El agua que retorna al generador de vapor es manejada por un sistema de alimentación y extracción de agua.

La función del sistema de agua de alimentación, como su nombre lo dice, es alimentar de agua al generador de vapor, para reponer a la que se convierte en vapor y conservar un nivel constante en el domo. El agua debe tener la presión necesaria para vencer a la presión existente en el generador de vapor y poder entrar.

El agua de alimentación (que anteriormente era agua de condensado), se extrae de la parte inferior del deareador (tanque de oscilación), y durante su recorrido con destino al generador de vapor va pasando por unos calentadores que le aumentan gradualmente su temperatura.

El objetivo principal es que el agua no llegue tan fría al generador de vapor con lo que se disminuye el consumo de combustible, y se aumenta la eficiencia del ciclo.

Las extracciones de vapor que se toman de la turbina, se usan principalmente para los calentadores de agua del sistema de condensado y del sistema de agua de alimentación.

2. BASES TÉCNICAS PARA GENERAR ENERGÍA ELECTRICA CON RESIDUOS DE PALMA DE ACEITE

2.1 El cultivo de Palma de Aceite en Guatemala

El cultivo de toda la Palma de Aceite se encuentra en lugares trópicos, donde hay mayor humedad, esta palmera empieza su ciclo de producción de aceite y residuo a los treinta meses de ser plantada.

2.1.1 Regiones de cultivo de Palma de Aceite

Los sitios de plantación de palma de aceite son: Coatepeque en el departamento de Quetzaltenango, Tiquisate en el departamento de Escuintla, El estor y Entre Ríos en el departamento de Izabal y Sayaxché en el departamento de Petén. Estos lugares por su naturaleza son húmedos y las plantas de palma de aceite pueden desarrollarse en forma constante.

Figura 11. Zonas de plantación de palma de aceite en Guatemala

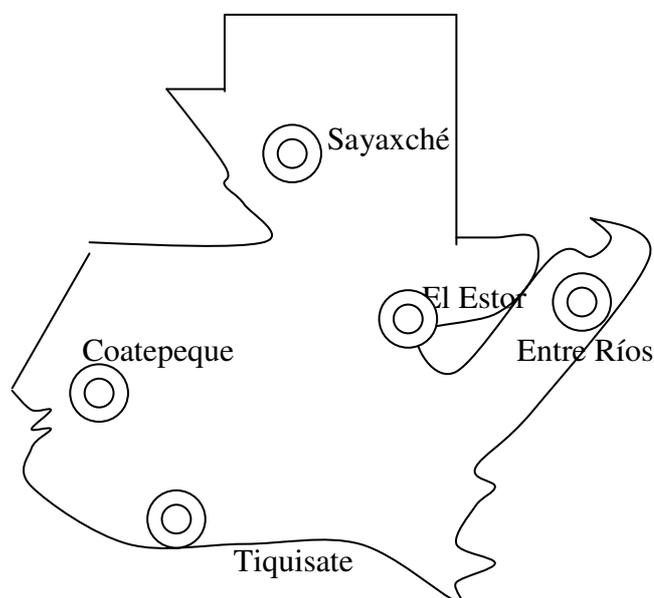


Tabla I. Área cultivada de Palma de Aceite.

Lugar	Departamento	Cantidad en hectáreas
Coatepeque	Quetzaltenango	12,100
El Estor	Izabal	10,200
Entre Ríos	Izabal	9,800
Tiquisate	Escuintla	11,300
Sayaxché	Petén	21,750

La tabla I. Fué proporcionada por la Extractora de Palma de Aceite de Coatepeque.

2.1.2 Producción de residuos de Palma de Aceite por hectárea

La forma en la que se encuentra plantada la palmera de palma de aceite es: cada hectárea contiene una cantidad de 143 palmeras, y cada palmera produce un racimo por mes, con un peso de 20 a 30 kg., cada racimo tiene un contenido de fibras de un 13% y un contenido de cáscara (estopas y ranquis) de un 27 % el resto del porcentaje (60%) es de aceite de almendra y torta de almendra. La fibra y la cáscara son el residuo de la fruta de palma de aceite y es el que se propondrá como combustible para generar energía eléctrica.

Si cada hectárea contiene 143 palmeras y asumiendo el peso mínimo por racimo que es de 20 kg, se tiene una cantidad de 2,860 kg. de fruta de Palma de Aceite por hectárea y mes (cada palmera genera un racimo por mes) y en un año produce 34,320 kg. de fruta.

En el año se tiene una producción de residuos de Palma de Aceite de 13,728 kg. por hectárea (40% de la cantidad de la fruta que no son utilizados para ningún tipo de producción). Lo que significa que, en el área de Coatepeque se tendrían al año 166,108,800 kg. de residuo de Palma de Aceite.

2.2 Determinación de características energéticas

La determinación de las características del poder calorífico, humedad y ceniza, del residuo de Palma de Aceite, se llevaron a cabo en la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la Unidad de Análisis Instrumental (UAI) que pertenece a

la Escuela de Química. Estas pruebas reflejan la capacidad energética de los residuos de Palma de Aceite, evaluadas.

Los residuos de Palma de Aceite se componen de fibra y cáscara. Las muestras evaluadas, se tomaron de la empresa Extractora de Palma de Aceite (EXPASA) ubicada en la finca San Juan Horizonte jurisdicción del municipio de Coatepeque del departamento de Quetzaltenango.

2.2.1 Prueba de poder calorífico del residuo de Palma de Aceite

Para llevar a cabo las pruebas de Calorimetría, se trituraron las muestras con martillos para convertirlas en polvo. La energía disponible de los residuos se determinó utilizando como parámetro el contenido calórico por unidad de masa.

Su poder calórico está relacionado directamente con su 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 reacción química del material.

Los resultados obtenidos experimentalmente del contenido calórico son:

La cáscara 1,818.20 Kcal/Kg.

La fibra 3,577.81 Kcal/Kg.

La cáscara tiene un contenido inferior de energía calorífica que la fibra, a continuación se calcula la cantidad de energía en Kilocalorías que puede

aportar un Kilogramo de mezcla de cáscara y fibra, con lo que se obtiene la capacidad energética del residuo de palma de aceite.

Datos de la mezcla para la combustión:

FIBRA	32.5%
CASCARA	67.5%

Cálculos:

FIBRA	$0.325 \text{ kg} * 3,577.80 \text{ kcal/ kg.} = 1,162.79 \text{ kcal}$
CASCARA	$0.675 \text{ kg} * 1,818.20 \text{ kcal/ kg} = 1,227.29 \text{ kcal}$

Un kilogramo de mezcla tiene un total de 2,390. kilocalorías.

2.2.2 Prueba de humedad del residuo de Palma de Aceite

El contenido de humedad (H.R.) del residuo de palma de aceite 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 el residuo de palma de aceite tenga un contenido de humedad inferior al 20%. Muchas veces, los residuos salen del proceso productivo con un contenido de humedad muy superior, que obliga a implementar operaciones adicionales de secado antes de ingresar al proceso de incineración de residuo de palma de aceite.

Los resultados experimentalmente por la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la Unidad de Análisis Instrumental (UAI) que pertenece a la Escuela de Química, del contenido de humedad son:

La cáscara de un 10%

La fibra de un 13%

Según los datos obtenidos, el contenido de humedad no supera el 20%, por lo que no requiere de un tratamiento de secado, y ello hace más eficiente la capacidad energética del residuo de palma de aceite.

2.2.3 Prueba de ceniza del residuo de Palma de Aceite

El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material. En los procesos que incluyen la combustión de la biomasa, es importante conocer el porcentaje de generación de ceniza, para ello se llevó a cabo las pruebas de ceniza de cáscara y de ceniza de fibra.

Los datos obtenidos experimentalmente por la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la Unidad de Análisis Instrumental (UAI) que pertenece a la Escuela de Química, del contenido de ceniza son:

La cáscara de 3.18%

La fibra de 8.82%.

El rango aceptable es 10% de ceniza.

2.3 Ventajas del residuo de palma de aceite

El residuo de palma de aceite es una fuente renovable de energía y su uso no

contribuye a acelerar el calentamiento global; de hecho, permite reducir los niveles de dióxido de carbono, aumentando los contenidos de carbono de la biosfera.

Los combustibles bio-másicos contienen niveles insignificantes de sulfuro y no contribuyen a las emanaciones que provocan “lluvia ácida”.

La combustión de residuos de palma de aceite produce menos ceniza que la de carbón mineral y puede usarse como insumo orgánico en los suelos.

La conversión de los residuos forestales, agrícolas y urbanos para la generación de energía reduce significativamente los problemas que trae el manejo de estos desechos.

Los residuos de palma de aceite son un recurso local que no está sujeto a las fluctuaciones de precios de la energía, provocadas por las variaciones en el mercado internacional de las importaciones de combustibles. En países en desarrollo, su uso reduciría la presión económica que impone la importación de los derivados del petróleo. El uso de los recursos de los residuos de la palma de aceite puede incentivar las economías rurales, creando más opciones de trabajo y reduciendo las presiones económicas sobre la producción agropecuaria y forestal.

Las plantaciones energéticas pueden reducir la contaminación del agua y la erosión de los suelos; así como a favorecer el mantenimiento de la biodiversidad.

2.3.1 Los residuos de palma de aceite como una fuente renovable de energía

Se considera que la palma de aceite es una fuente renovable de energía porque su valor proviene del Sol. A través del proceso de fotosíntesis, la clorofila de las plantas captura su energía, y convierte el dióxido de carbono (CO₂) del aire y el agua del suelo en carbohidratos, para formar la materia orgánica. Cuando estos carbohidratos se queman, regresan a su forma de dióxido de carbono y agua, liberando la energía que contienen. Los contenidos de carbono que existen en un bosque primario.

De esta forma, la plantación de palma de aceite funciona como una especie de batería que almacena la energía solar.

Los recursos biomásicos incluyen cualquier fuente de materia orgánica, como desechos agrícolas y forestales, residuos de palma de aceite, plantas acuáticas, desechos animales y basura urbana.

Su disponibilidad varía de región a región, de acuerdo con el clima, el tipo de suelo, la geografía, la densidad de la población, las actividades productivas, etc.; por eso, los correspondientes aspectos de infraestructura, manejo y recolección del material deben adaptarse a las condiciones específicas del proceso en el que se deseen explotar.

2.4 Desventajas del residuo de palma de aceite

Por su naturaleza, los residuos de palma de aceite tienen una baja densidad relativa de energía; es decir, se requiere su disponibilidad en grandes volúmenes para producir potencia, en comparación con los combustibles fósiles, por lo que el transporte y manejo se encarecen y se reduce la producción neta de energía. La clave para este problema es ubicar el proceso de conversión cerca de las fuentes de producción de residuos de palma de aceite.

Su combustión incompleta produce materia orgánica, monóxido de carbono (CO) y otros gases.

Si se usa combustión a altas temperaturas, también se producen óxidos de nitrógeno. A escala doméstica, el impacto de estas emanaciones sobre la salud familiar es importante.

La producción y el procesamiento de los residuos pueden requerir importantes insumos, como combustible para vehículos y fertilizantes, lo que da como resultado un balance energético reducido en el proceso de conversión.

Es necesario minimizar el uso de estos insumos y maximizar los procesos de recuperación de energía.

El potencial calórico del residuo de palma de aceite es muy dependiente de las variaciones en el contenido de humedad, clima y la densidad de la materia prima.

2.4.1 La limitación principal para este tipo de plantación de palma de aceite

Se requieren grandes extensiones de tierra para lograr una producción de energía rentable. Por esta razón, son factibles cuando se desarrollan con algún tipo de producción agrícola paralela, como por ejemplo, el maíz, la caña de azúcar y la palma de aceite.

3. ESTUDIO TÉCNICO-ECÓNOMICO PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA APARTIR DE LOS RESIDUOS DE PALMA DE ACEITE COMO COMBUSTIBLE

Dada la disposición de la producción de residuos de Palma de Aceite en la región de Coatepeque se desarrollará el estudio para la implementación de una planta generadora utilizando los residuos de Palma de Aceite en la región.

3.1 Características del sitio

3.1.1 Acceso

El terreno que se utilice para generar energía eléctrica, quemando residuos de palma de aceite, tiene que ser fuera de la ciudad por la cantidad de humos, por la extensión del terreno y otros factores que intervienen en el acceso, por ejemplo:

Las calles de acceso a la planta por el cual se transporta el equipo y residuos de palma de aceite, deben de ser por lo menos de 7 a 8 metros de ancho, teniendo en cuenta también la inclinación tanto longitudinal como lateral de las calles y la existencia de puentes que soporten por lo menos 25 toneladas para el paso de equipo, así como el paso de camiones con residuos de palma de aceite.

3.1.2 Infraestructura eléctrica

De la misma manera es importante contar con la infraestructura eléctrica necesaria para la conducción de la energía producida.

Si esta infraestructura eléctrica no existe se tiene que construir una línea que transporte la energía producida hacia una subestación o hacia el usuario final, lo que incrementa los costos de construcción y energía eléctrica, lo ideal es construir la planta termoeléctrica cerca de donde se procesa la palma de aceite para minimizar los costos de transporte del residuo y cerca de las líneas transporte de la energía o directamente a una subestación.

Por lo anterior es importante ubicar puntos estratégicos donde se minimicen los riesgos, tanto económicos como técnicos, en una planta termoeléctrica.

3.2 Volumen disponible de residuos

La extractora de palma de aceite (EXPASA), ubicada en la finca San Juan Horizonte en el municipio de Coatepeque, tiene una extensión de plantación de doce mil cien hectáreas (12,100 ha) y cada hectárea le genera al año un mínimo de residuos de palma de aceite, de trece mil setecientos veintiocho kilogramos, (13,728 kg.) equivalente a ciento sesenta y seis millones ciento ocho mil ochocientos kilogramos de residuos de palma de aceite al año (166,108,800 kg). y cuatrocientos cincuenta y cinco mil noventa y tres kilogramos de residuo de palma de aceite al día (455,093 kg.).

Con estos datos medidos experimentalmente y calculados tenemos un equivalente a ciento ochenta y dos mil setecientos veinte toneladas métricas de residuos de palma de aceite al año (182,720 TM), y estas plantas viven de 20 a 30 años según palmisteria y cultivo de la industria de palma de aceite de la Empresa Extractora de Palma de Aceite (EXPASA) ubicada en Coatepeque Quetzaltenango, suficiente producción de residuo de palma de aceite para generar energía eléctrica durante 10 años, donde funcionando eficientemente la planta termoeléctrica no demandará más del 60% del residuo de palma de aceite al año. Con esta cantidad de residuo de palma de aceite es suficiente para alimentar la planta generadora de energía eléctrica (TERMOELÉCTRICA).

El residuo de palma de aceite, es llamado fibra y cáscara, tiene las características siguientes:

- ✓ La cáscara tiene un poder calorífico de 1,818.20 kilocalorías por kilogramo.
- ✓ La fibra tiene un poder calorífico de 3,577.80 kilocalorías por kilogramo.
- ✓ El conjunto de residuos tienen un poder calorífico 2,390 kilocalorías por kilogramo.

Los volúmenes de residuo de palma de aceite no requieren una previa preparación para la combustión, porque antes de salir de la Planta de Aceite, los residuos son llevados a temperaturas elevadas por la extracción de aceite y por ende un bajo contenido de humedad.

Con el volumen que se obtuvo de los residuos de palma de aceite, que es de 455,093 kg. al día y también por medio del laboratorio se obtuvo que en un kilogramo de residuo de mezcla tiene un poder calorífico de 2,390 kilocalorías. Se pretende calcular que potencia de la maquina es necesaria para quemar todo el residuo de palma de aceite que se genera y así maximizar la producción de energía eléctrica.

La central termoeléctrica que se pretende instalar ofrece un kilovatio-hora por 17,000 kilocalorías de energía y factor de perdidas del 80%.

Obteniendo las kilocalorías al día tenemos:

455,093 kg. al día * 2390 kcal./kg. = 1,087,672,270 kcal. Al día

y también obteniendo la energía que generará la termoeléctrica con todo el residuo del día en la finca San Juan Horizonte tenemos:

1,087,672,270 Kcal. Al día * 1/17,000 kwh/kcal. = 63,981kwh al día = 63.9 Mwh al día

lo que implica que al año tenemos:

63,981kwh al día * 360 dias = 23,033,160 kwh al año = 23.033 Mwh = 23.03 Gwh

Apartir de la siguiente ecuación

$$E_n = P_{max} * t * f_p$$

Tenemos que: $P_{max} = E_n / (t * f_p)$

sustituyendo valores:

$$P_{\max} = 23.033 \text{ Mwh} / (8640 \text{ horas} * 0.8) = 3.332 \text{ Mw}$$

Con un 90% de certidumbre de disposición de residuos

$$P_{\text{planta}} = P_{\max} * 0.9 = 2.999 \text{ Mw} \approx 3 \text{ Mw}$$

Aprovechando todo el volumen disponible de residuos de palma de aceite se llega a la conclusión que se puede instalar con plena seguridad una termoeléctrica de 3 MW de potencia máxima.

La planta será instalada como una planta de cogeneración, es decir se va a suplir la energía de la planta extractora de aceite con una demanda de 700 kw, y el excedente será suministrado a la red de distribución.

En tal sentido y tomando en cuenta el costo del MVA instalado se considera e utilizar una planta de 2 MVA.

3.3 Cálculo de la cantidad de combustible de los residuos de palma de aceite, que se utiliza para producir una unidad de energía eléctrica

El análisis y las proyecciones para el estudio de caso se presentan a continuación, este análisis esta realizado como un estudio técnico y económico que determina si un proyecto será rentable o no para su desarrollo, realizando el análisis mediante una hoja electrónica la cual considera diferentes escenarios económicos, se realizan estas sensibilizaciones para determinar en qué punto la inversión corre peligro de fracasar.

La planta termoeléctrica que se pretende utilizar para esta propuesta es un equipo moderno de Bogotá Colombia llamado TECNINTEGRAL para quemar residuo de palma de aceite como combustible, se cotizo una planta de una potencia nominal de 2 MVA y la energía puesta en la planta de San Juan Horizonte tiene un costo de \$ 2,503,075 de dólares. La central termoeléctrica ofrece un kilovatio-hora por 17,000 kilocalorías de energía, tomando en cuenta las pérdidas de la planta.

Todo el equipo está especificado por costos en la tabla V Inversión de equipo y los datos técnicos de cada equipo individual se reservan a darlos por ética profesional de TECNINTEGRAL hasta hacer la compra de la planta generadora de energía eléctrica

Se utilizan las pruebas de poder calorífico del residuo de palma de aceite para calcular la eficiencia de la máquina citada, luego se realiza los cálculos siguientes.

$$17,000 \text{ kcal/ kwh} * 1/ 2390 \text{ kcal/kg} = 7.11 \text{ Kg/kwh}$$

La eficiencia es función de la humedad y del poder calorífico del residuo de palma de aceite y se llega a la conclusión que para generar una unidad de energía (kwh) se necesita la cantidad de combustible de 7.11 kilogramos de residuo. Ver tabla II.

Tabla II. Datos de eficiencia de maquinaria.

Residuo 1 kg	Humedad %	Poder Calorífico Cal/gramo	Eficiencia Kwh/kg.	Contenido de Ceniza %
Palma de aceite	12.4	2,390	0.14	7.692

La termoeléctrica se elige por la eficiencia y por que la planta de aceite consume 700 kwh por hora, equivalente a 16,800 kwh por día (con 24 horas de operación) y el resto se utilizara para la venta.

3.4 Características de operación de una planta de vapor

3.4.1 Características de operación de los generadores de vapor

El generador de vapor es una máquina que genera calor para producir energía, para procesos o propósitos de calentamiento.

3.4.1.1 Flujo, presión y temperatura de vapor

El flujo, presión y temperatura de vapor se fijan, de acuerdo con las condiciones y características del turbo generador, tuberías y aislamiento. El flujo de vapor principal deberá ser entre 4 y 7% mayor que el flujo nominal e estrangulamiento a la turbina, con el fin de tener un margen por ensuciamiento de las superficies de transferencia de calor de la caldera. Adicionalmente se considerará el flujo de vapor a auxiliares y sopladores, tomados de una etapa de la caldera.

La presión en la salida del sobrecalentador a plena carga deberá ser entre un 2 y un 5% mayor que la presión de estrangulamiento de la turbina, para tomar en cuenta la caída de presión en las líneas de vapor principal. La caída de presión a plena carga del vapor recalentado deberá ser un 4% en el recalentador, 3% en la línea de vapor recalentado caliente y el 3% en la línea de vapor recalentado frío. Tomando en cuenta la pérdida de calor, la temperatura de vapor, tanto principal como recalentado, deberá ser tres grados mayor que la temperatura a la turbina.

3.4.1.2 Clasificación de calderas por tipo de circulación

Debido al flujo y presión de vapor, todos los generadores de vapor son de tubos de agua. Básicamente el flujo de agua deberá evitar el quemado de tubos y la corrosión bajo carga. La clasificación de las calderas por el tipo de circulación, es la siguiente:

- a) Circulación natural hasta 180 kg/cm^2 ; la circulación de agua en el sistema de vaporización se debe a la diferencia en el peso específico entre la fase líquida y la mezcla de agua vapor.

- b) Circulación forzada (circulación controlada 180 kg/cm^2 , circulación de un paso de 80 a 350 kg/cm^2 ;) El flujo en los circuitos se produce por medio de bombas.

Ventajas y desventajas de la circulación forzada

Ventajas:

La circulación positiva no sujeta a la incertidumbre y dificultades de la circulación natural, flexibilidad en el arreglo de las partes, superficies de calentamiento, menor peso y menor volumen, flexibilidad de operación, rápido calentamiento, cambios de carga y enfriamiento, alta calidad de vapor, reducción de los tiempos de salida, menor falla en los tubos quemados, mayor seguridad (esfuerzos y sobrecalentamientos de tubos menores por contar con tubos ligeros), fuga de aire y gases mínimos, menor altura, circulación positiva en el arranque, temperatura nominal a todas las cargas y condiciones de operación diferentes a las de diseño.

Desventajas:

Poca capacidad de almacenamiento de agua, mayores requerimientos de bombeo, equipo auxiliar más complicado (operación bajo condiciones de saturación), inestabilidad a cambios de carga por la pequeña capacidad de agua, bombas adicionales, pureza de agua de alimentación, diseño complejo, operación, reparación y mantenimiento complejo (se requiere personal con mayor capacitación).

3.4.1.3 Influencia de la presión sobre los componentes

El balance del calor cedido al agua en la caldera, depende de la presión de trabajo. Al aumentar la presión, se reduce el calor de vaporización y aumenta la cantidad de calor en el sobrecalentador; la superficie de este aumenta gradualmente, a medida que aumenta la presión, en algunos casos parte de la pantalla del hogar incluye elementos de sobrecalentador.

3.4.1.4 Aire y gases

Los gases que pasan por la caldera son producto del aire para la combustión y de la combustión del combustible. Para obtener una combustión correcta, es necesario introducir una cantidad de aire mayor a la teórica. Normalmente, la temperatura del aire a la entrada del precalentador debe estar entre 60 y 80 °C para evitar llegar a la temperatura de rocío. Según la presión de los gases en el hogar, las calderas pueden ser de tiro balanceado (con depresión en el hogar) o presurizadas (con depresión en el hogar). La caldera de hogar presurizado da mayor posibilidad de trabajo con coeficiente de exceso de aire menor; para ello debe mantenerse el hogar hermético, obteniendo así una eficiencia de 0.5% mayor.

3.4.1.5 Estructura de soporte

La caldera se suspenderá de la parte superior por una estructura de acero y estará libre para expandirse hacia abajo, de manera que los esfuerzos por temperatura se mantengan dentro de los límites de diseño. Toda la estructura deberá estar diseñada para resistir, además de las cargas del generador de vapor, las fuerzas producidas por velocidades de viento y sismo.

3.4.1.6 Hogar

La composición del hogar de las calderas depende del tipo de combustible y la forma de combustión. Desde el punto de vista del desarrollo de los fuegos y de la colocación de los quemadores, los hogares pueden clasificarse en:

Paralelos, con quemadores al frente o al frente y atrás.

Turbulento, con quemadores, colocados en las esquinas que inyectan el combustible en la tangencial cerca del centro.

La carga térmica, el hogar depende del tipo de combustible, existiendo una tendencia a reducirse en las calderas mayores. La temperatura del hogar depende del tipo de combustible.

En general el hogar debe diseñarse para cumplir con las siguientes características:

Tener capacidad para aire suficiente, con objeto de reducir la temperatura de los gases a un nivel aceptable a los requerimientos de sobrecalentamiento

Tener suficiente altura para asegurar una circulación adecuada de agua en los tubos. Tener tubos de diámetro suficiente para asegurar una mínima caída de difusión y evitar impedancias en la mezcla de flujo de agua vapor.

La flexibilidad de un hogar representa el límite dentro del que puede operar en condiciones seguras de combustión y constituye el límite de flexibilidad de la caldera; la relación entre el calor absorbido y el calor liberado en el hogar, varía de acuerdo con los siguientes factores, principalmente: el tipo de combustible, exceso de aire, colocación de quemadores, limpieza de tubos, inclinación de quemadores.

3.4.1.7 Precalentadores de aire

Los precalentadores de aire recuperan el calor de los gases, de combustión, para el calentamiento del aire de ésta; las altas eficiencias de los generadores de vapor (88 a 90%), se alcanzan únicamente manteniendo los gases de escape debajo de 150 °C, El precalentador se instala entre el economizador y la chimenea. El precalentador de aire minimiza la variación de la eficiencia de la caldera con la carga; la superficie es de 80 a 150% de la caldera cuando se tiene economizador y de 300% sin economizador. Según el tipo de combustible y el generador de vapor, por cada 15 a 25 °C que se eleve la temperatura de combustión, se obtiene un aumento de 1% en la eficiencia total de la caldera.

Los materiales de los precalentadores de aire deberán combinar buena resistencia a la corrosión, buena resistencia mecánica un acabado fino y poder trabajar a altas temperaturas.

3.4.1.8 Influencia del combustible

Además de la variación en la eficiencia de la caldera, el tipo y la calidad del combustible influye en la constitución de los componentes, el volumen y el costo de la caldera. La variación de la superficie de transferencia de calor en función de la calidad y el tipo de combustible, se toma como base, la cantidad Kcal/Kg del poder calorífico inferior del combustible. De estos datos se deduce que el diseño de una caldera para combustibles múltiples requiere mayores dimensiones, soluciones especiales de control y limitaciones en la eficiencia.

3.4.1.9 Ventiladores

Los ventiladores en el generador de vapor, según su diseño, se emplean para suministrar aire para la combustión, secado de combustible y extracción de gases de combustión, empleándose dos tipos de ventiladores: radiales y axiales. Las eficiencias usuales de los ventiladores son:

De 0.65 a 0.70 para ventiladores radiales pequeños. De 0.78 a 0.82 para ventiladores radiales grandes. De 0.80 a 0.88 para ventiladores axiales grandes. El dimensionado del ventilador se hace con un 15% mayor que el flujo a máxima carga de la caldera, por las siguientes razones: ensuciamiento de la caldera que requiere mayor flujo de gases, disminución de la calidad del combustible y desgastes de los ventiladores.

3.4.1.10 Quemadores

Los quemadores son los elementos del hogar para la combustión. Se alimentan con combustibles y aire en condiciones estables y crean las condiciones aerodinámicas necesarias para producir una flama con características adecuadas a la instalación. Las principales funciones de los quemadores son:

Preparación del combustible para la mezcla con el aire, dirigir y dar la velocidad necesaria al combustible y el aire para su mezcla, regulación del flujo de aire y combustible para asegurar una cierta carga térmica con una relación aire combustible, crear las condiciones de estabilidad de la flama dentro del dominio de su funcionamiento, dirigir el combustible y el aire en tal forma que se realice cierta distribución de la flama en la zona de temperatura del hogar.

3.4.1.11 Chimenea

La chimenea es un conducto cerrado que se utiliza para los siguientes propósitos:

- Evacuar los gases de la combustión de la caldera, después que han cedido la mayor parte posible de calor.
- Producir presión estática para ayudar a la evacuación de los gases de la combustión.
- Ayuda a controlar la contaminación ambiental.

El criterio de dimensionado de la chimenea está definido por los contaminantes producidos en la caldera y por los límites sanitarios de la contaminación permitida. La producción de contaminantes depende del tipo de combustibles en el diseño de la caldera y el contenido de azufre en el combustible. La cantidad de cenizas en el suelo depende

de la cantidad que se elimina y de la forma en que se difunde o esparce a la salida de la chimenea.

3.4.1.12 Domo

El domo es una parte muy importante en la trayectoria del fluido de agua vapor, dentro del generador de vapor de la circulación natural; las principales funciones del domo son las siguientes, que determina su tamaño:

Proveer un volumen de agua adecuado para proteger la caldera en caso de emergencia, acomodar internamente los dispositivos necesarios para realizar múltiples funciones, proporcionar espacio suficiente para acomodar la llegada de los tubos evaporadores, la salida de los tubos al sobrecalentador y la salida de los tubos de baja presión. Para protección de la caldera, durante su operación con fuego encendido debe de existir un flujo de fluido enfriador en las paredes del hogar y sobrecalentador para evitar que se quemen los tubos, el nivel normal de operación es de más ó menos 10 cm. del centro del domo.

3.4.1.13 Sobrecalentadores y recalentadores

La razón principal de sobrecalentar y recalentar el vapor, es el aumento en la eficiencia o disminución del consumo térmico unitario de la planta que se logra mediante una ganancia termodinámica y un aumento en la eficiencia de la turbina. El mejor consumo térmico unitario es de aproximadamente 8% por 100 °C de sobrecalentamiento. Además del aumento en la eficiencia que se tiene con el

recalentador, también se reduce la capacidad de la bomba de agua de alimentación y se reduce del tamaño del condensador.

3.4.1.14 Sistema de control

El sistema de control de caldera deberá ser capaz de hacer lo siguiente:

Medir flujos, temperaturas, presiones y niveles. Los dispositivos de medición deberán producir una señal para el calculador del sistema de control. El calculador deberá ser capaz de analizar la señal de entrada y producir una señal de mando de control, correctivo a los dispositivos individuales de control. Existen tres sistemas de control principal:

Control de agua de alimentación, control de combustión y control de temperatura. Adicionalmente existen otros sistemas de control como el de temperatura de precalentadores de aire. El propósito de cualquier sistema de control de agua de alimentación, es de igualar el flujo de agua de alimentación con el flujo de vapor, manteniendo un nivel de agua estable en el domo de la caldera durante cargas altas, bajas o con cambios rápidos.

El sistema control de combustión en la caldera tiene los siguientes propósitos:

Regular la entrada de combustible a la caldera para mantener un suministro continuo de vapor a una presión constante, regular la entrada de aire a la caldera a la proporción correcta a la entrada de combustible, regular la extracción de gases de combustión para mantener un tiro constante en el hogar.

El control de la temperatura de vapor es necesario en las calderas porque alimentan las turbinas de vapor. Mientras más alta es la temperatura, la eficiencia mejora pero la resistencia de los aceros disminuye y se tienen límites máximos de operación.

3.4.1.15 Características técnicas de los generadores de vapor

- a) Poder calorífico en Kcal/Kg.
- b) Presión en kg/cm^2
- c) Temperatura de vapor
- d) Flujo de agua a evaporar
- e) Forma de circulación (agua-vapor)
- f) Calor suministrado y absorbido en el hogar en kcal/m^2
- g) Eficiencia del generador de vapor
- h) Potencia absorbida por el ventilador que suministra aire para la combustión
- i) La eficiencia de los ventiladores
- j) Poder calorífico de los dos tipos de combustibles
- k) La presión del aire de los sopladores
- l) Flujo de aire de los sopladores
- m) La altura de la chimenea
- n) Altura de elevación de los gases
- o) Diámetro de la columna de los gases

3.4.2 Características de operación de las turbinas de vapor

El papel de la turbina de vapor consiste en transformar la energía térmica y de presión contenida en el vapor de agua en energía mecánica en los alabes de la turbina, la energía cinética en las toberas y la energía mecánica en los alabes de la turbina, la energía contenida en el vapor de agua bajo la forma de energía térmica y de energía de presión. La suma de estas formas de energía, expresada en Kilocalorías por kilogramo de fluido, se caracterizan por la entalpía del vapor, función de la presión y de la temperatura.

Originando una diferencia de presión y una caída de temperatura, se produce una caída de entalpía entre el generador de vapor y el condensador. La turbina situada entre estos dos puntos asegura la transformación en energía mecánica de rotación con el mínimo posible de pérdidas.

3.4.2.1 Capacidad

Las variaciones de capacidad por tolerancia de fabricación varían entre 3 y 6% mayor que la capacidad garantizada, en promedio de un 5% mayor.

Las turbinas se diseñan para trabajar en forma segura y continua a un 105% de la presión nominal del trabajo a válvulas totalmente abiertas y con todos los calentadores de agua de alimentación en servicio, lo que produce un aumento en la capacidad del flujo de 5% y en potencia de 4.5%.

3.4.2.2 Vapor de sellos

Se requiere vapor para asegurar que en la salida de los sellos de las turbinas,

la presión sea mayor que la atmosférica, evitando así que escape vapor del ciclo o entre aire al interior de las turbinas.

3.4.2.3 Temperatura y lubricación de cojinetes

El aceite lubricante se requiere para mantener una cuña o película de aceite en donde gira la flecha y para remover el calor que esto genera en los cojinetes. La temperatura de aceite a la entrada de los cojinetes debe ser entre 38 y 43 °C y la máxima de salida de 70 °C limitando así la temperatura del cojinete a no más de 74 °C. El control de temperatura se logra regulando el flujo de aceite de los cojinetes. El aceite de control es suministrado a presión entre 3.5 a 25 kg/cm².

3.4.2.4 Tuberías

Todas las tuberías que conecten a la turbina deberán ser suficientemente flexibles para evitar esfuerzos excesivos y reacciones en las turbinas originados por la expansión de las tuberías y turbina por las variaciones de temperatura. Se recomienda que el punto de conexión al punto final sea lo mas largo posible, que tenga el mínimo de tramos rectos y sistema de tubería de planos múltiples, que minimice las restricciones y proporciones de soportes adecuados para evitar cargas sobre las turbinas.

3.4.2.5 Válvulas

Las principales válvulas requeridas en una turbina son: la válvula de paro actúa, en emergencia y se emplea para controlar la velocidad de la turbina durante los arranques. Válvula de control, su función es regular la velocidad y carga de la turbina, controlando el flujo de vapor. Válvula interceptora, principalmente protege a la turbina

de la sobrevelocidad, cerrando de inmediato en los rechazos de carga y abriendo primero que las válvulas de control cuando la velocidad disminuye. Válvula de paro de vapor sobre calentado, proporciona doble protección a la entrada de recalentado. Válvula de seguridad en el escape de la turbina, evita sobre presiones en la zona de baja presión. Válvula de no retorno en las extracciones de vapor, estas válvulas evitan que entre agua por la extracción a la turbina en caso de mal funcionamiento de los calentadores.

3.4.2.6 Rotor

En las turbinas de impulso el rotor consiste en un eje en el que se montan ruedas que llevan las paletas. El rotor de una turbina es un tambor, es escalonado o cónico para aumentar de diámetro hacia el extremo de baja presión.

3.4.2.7 Eficiencia térmica

Su eficiencia será la energía útil en forma de trabajo, como potencia en la flecha, considerada como porcentaje de la energía térmica aplicada. La determinación de estas cantidades puede hacerse tomando como base kg de vapor, de los que pasan por la turbina, en Cal/h, o en cantidades por kwh de rendimiento que da el generador eléctrico.

El vapor se introduce por la válvula de entrada de la turbina de vapor a presión elevada. Este se transforma en energía del par del motor en la flecha, vapor de escape, vapor de extracción, rozamientos mecánicos y radiación. En consecuencia, la energía térmica que se debe cargar a la turbina es algo menor que la completa del valor de entrada.

La eficiencia total de una turbina de vapor es W / JQ , en donde W es el trabajo producido en la flecha en kgm y Q la Calorías de energía térmica consumidas.

Esta expansión conduce a otras para expresar la eficiencia térmica y eléctrica:

$$n_c = 860 / w_k (h_1 - h_{f2})$$

w_k = rendimiento del generador kwh

$h_1 - h_{f2}$ = diferencia de entalpía de escape

Consumo de calor significa en una turbina regenerativa o de expansión lo que el consumo de vapor en una turbina de expansión completa.

Como se observa en la ecuación siguiente, el consumo de calor representa las calorías gastadas por la turbina, por unidad de rendimiento útil, es decir, hph o por kwh . Los consumos de calor de las unidades turbogeneradoras se expresan en Cal/kwh disponible en las terminales del generador eléctrico. El consumo de calor de la turbina es:

$$HR_T = (H_T + Q_R - (H_F - H_C) - H_E) / \text{Rendimiento en hp o kw}$$

H_T = Contenido de calor en el vapor suministrado en la válvula de entrada del lado de la caldera y coladera en Cal/h .

Q_R = Calor que añade en vapor en recalentamiento, igual al aumento en contenido de calor del punto en que el vapor sale de la turbina para recalentarse hasta el punto en que el vapor recalentado vuelve a entrar en la cubierta de la turbina, en Cal/h .

H_F = Contenido de calor del agua de alimentación al salir del calentador de mayor temperatura, en Cal/h.

H_C = Contenido de calor del agua condensada a la temperatura que prevalece actualmente en el depósito de agua condensada del condensador durante la prueba, en Cal por h.

H_E = Contenido de calor del agua a la temperatura del punto de ebullición que corresponde a la presión absoluta que prevalece en la platina del tubo de escape de la turbina, en Cal/h.

3.4.2.8 Características técnicas de las turbinas

- a) Potencia de acoplamiento (KW o CV) (potencia desarrollada)
- b) Presión a la entrada de la turbina en kg/cm (absoluta)
- c) Presión del vapor en bares
- d) Energía liberada del vapor (kcal/kg)
- e) Temperatura del vapor de la entrada de la turbina en grados centígrados
- f) Presión de extracciones en bares
- g) Flujo de vapor de extracción en kg/s
- h) Velocidad axial absoluta del escape del vapor (m/s)
- i) Sección efectiva del escape, en m
- j) Volumen específico del vapor, en m³/Kg
- k) Tipo de turbina (acción y reacción)
- l) Par útil sobre el eje

3.4.3 Características de operación de los generadores eléctricos

El generador es una máquina que convierte la energía mecánica en energía eléctrica. En la actualidad, con cierta frecuencia se emplea acero con grano orientado en la fabricación del estator, con lo que se tiene una pérdida de 0.5 w/kg, con una inducción magnética de 1 t.

La fabricación del rotor se considera a velocidades periféricas del orden de 230 m/s. Y diámetros de 1.2 m.

Normalmente se utiliza hidrógeno para el enfriamiento del estator y rotor. Para potencia de 600 MW se requiere enfriamiento directo del rotor; para potencias de 1000 MW se necesita enfriamiento a todo el generador (tanto al hierro como al cobre). Una diferencia de temperatura de 60 °C entre el hierro y el cobre produce dilataciones inadmisibles. La temperatura admisible en la superficie del rotor es de 140 °C lo cual admite un calentamiento del agua de enfriamiento de 50 °C el voltaje de transformación es de 6 a 24 KV, dependiendo de las características de transformación y la capacidad. El factor de potencia deberá ser 0.8 inductivo en capacidades de 150 MW, 0.85 inductivo en capacidades de 160 a 500 MW y 0.9 inductivo en capacidades de 600 MW y mayores.

3.4.3.1 Características técnicas de los generadores eléctricos

En los generadores sincrónicos hay ciertos límites básicos de velocidad y de potencia. Estos límites se expresan como valores nominales de la máquina. El objetivo de estos valores es proteger el generador eléctrico de los peligros de un manejo equivocado.

Con este fin, cada máquina tiene un listado de valores nominales en la placa de identificación adherida a ella.

Los valores nominales típicos de un generador sincrónico son: voltaje, frecuencia, velocidad, potencia aparente (kilovoltamperios), factor de potencia, corriente de campo, factor de servicio, voltaje máximo y corriente máxima de campo.

- a) Voltaje: es el nivel de voltaje generado internamente de la máquina, en que esta dispuesta a generar y depende del flujo de la máquina, de su frecuencia o velocidad de rotación y de su construcción.
- b) Frecuencia: la potencia eléctrica se genera a 50 o 60 Hz, así que el generador debe girar a una velocidad fija que depende del número de polos de la máquina. Por ejemplo, para generar 60 Hz de potencia en una máquina de cuatro polos, el rotor debe girar a 3,600 r.p.m.
- c) Velocidad: los generadores sincrónicos, producen una frecuencia eléctrica que está atada o sincronizada con la velocidad mecánica de rotación del generador.
- d) Potencia aparente: es la potencia que soporta la máquina en perfectas condiciones. Existen dos factores que determinan los límites de potencia de las máquinas, uno, es el momento de torsión mecánico sobre el eje y el otro es el sobrecalentamiento de los embobinados. La máxima corriente del inducido aceptable establece la potencia nominal aparente del generador.

- e) Factor de potencia: todo generador tiene factor de potencia, es el recalentamiento máximo permitido en los embobinados de campo, que determina el voltaje generado conjuntamente y determinan el factor de potencia nominal del generador.
- f) Corriente de campo: es la corriente continua que se le aplica al embobinado del rotor, para producir un campo magnético en el rotor.
- g) Factor de servicio: es el cociente de la potencia máxima real de la máquina a la potencia nominal de la placa, también es el límite de funcionamiento de estado estable de un generador sincrónico, que es el calentamiento de su inducido y embobinados de campo.
- h) Voltaje máximo: es el voltaje más alto permitido y es fijado por el valor de ruptura del aislamiento del embobinado del inducido.
- i) Corriente máxima de campo: es la más alta corriente que puede circular en los hilos de la bobina de campo sin sufrir daño.

3.4.3.2 Características de frecuencia- potencia y de voltaje- potencia reactiva de un generador eléctrico

Todos los generadores son accionados por un motor primario, el tipo más común de motor primario es una turbina de vapor, pero además hay otros tipos tales como motores diesel y molinos de viento.

Todos los motores primarios tienden a comportarse de manera similar: mientras la potencia de entrega aumenta, la velocidad a la cual gira disminuye. La velocidad es en general no lineal, pero casi siempre se incluye un mecanismo regulador para volver lineal la disminución de velocidad con un aumento en la demanda de potencia.

Cualquiera que sea el mecanismo regulador en se encuentre en el motor primario, siempre se podrá graduar para que produzca una característica ligeramente descendente a medida que la carga aumenta.

La caída de velocidad de un motor primario esta definida por la ecuación:

$$CV = (n_{SC} - n_{PC}) * 100\% / n_{PC}$$

Donde n_{SC} es la velocidad en vacío del motor primario y n_{PC} es la velocidad del motor primario a plena carga, además la mayor parte de los reguladores de velocidad tienen un dispositivo de ajuste, para permitir que la velocidad de la turbina en vacío pueda modificarse.

Puesto que la velocidad del eje del generador se relaciona con la frecuencia eléctrica resultante, la potencia de salida de un generador esta relacionada con su frecuencia.

Una relación similar se puede deducir para la potencia reactiva y la tensión en los bornes. Cuando una carga en atraso se le aumenta al generador el voltaje en terminal disminuye y cuando aumenta una carga en adelanto el voltaje en terminales aumenta.

Cuando el generador trabaja solo o aisladamente, la potencia real P y potencia reactiva Q suministrada por el generador será la cantidad absorbida por la carga que se le conecte; estas cargas no pueden regularse por el control del regulador.

Por lo tanto para cualquier potencia real dada, el gobernador es el que controla la frecuencia de funcionamiento del generador y para cualquier potencia reactiva es, la corriente de campo controla la tensión terminal del generador eléctrico.

Para aclarar, cuando un generador trabaja aisladamente o individualmente alimentando las cargas del sistema, entonces se puede resumir:

- a) Las potencias real y reactiva entregadas por el generador, serán de la magnitud que exijan las cargas que le sean conectadas.
- b) Las marcas de la esfera del gobernador, controlarán la frecuencia de funcionamiento del sistema de potencia.
- c) La corriente de campo (o las marcas del regulador de voltaje) controlará la tensión de terminal del sistema de potencia.

Esta es la situación que se encuentra un generador aislado en un medio ambiente remoto.

3.4.3.3 Curvas de capacidad del generador eléctrico

El calentamiento del estator y del rotor, tiene ciertos límites, junto con cualquiera otro limitante extremo que se presentan en un generador, puede representarse gráficamente por medio de un diagrama de potencias. El diagrama de potencias es una gráfica de potencia compleja $S = P + jQ$, que se deduce del diagrama fasorial del generador, suponiendo que V_o se mantiene constante en el voltaje nominal de la máquina.

La figura 12 muestra el diagrama fasorial de un generador sincrónico, que funciona con un factor de potencia en atraso y a su voltaje nominal. Un conjunto de ejes octogonales se dibuja sobre el diagrama comenzando en el vértice de V_o cuya magnitud está dada en voltios. En este diagrama, el segmento AB tiene una longitud de $X_s I_A \cos \phi$ y el segmento horizontal OA tiene una longitud $X_s I_A \sin \phi$.

La potencia real de salida se formula por

$$P = 3V_o I_A \cos \phi$$

y la potencia reactiva de salida se formula por

$$Q = 3V_o I_A \sin \phi$$

Figura 12. Diagrama fasorial de un generador del generador.

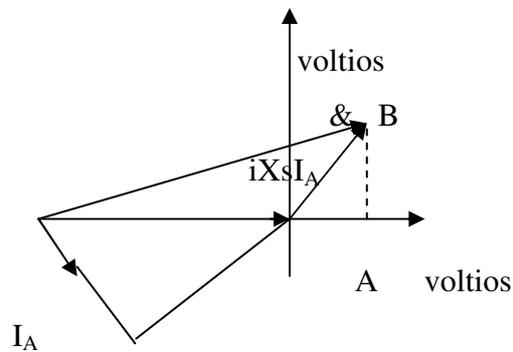
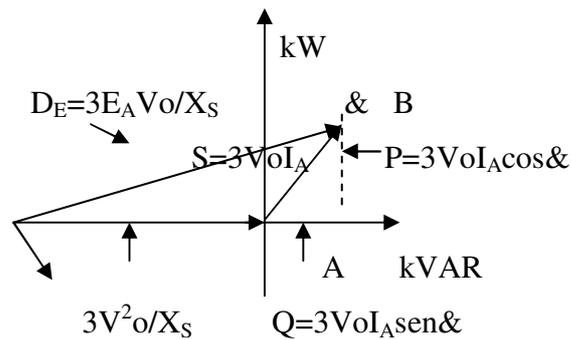


Figura 13. Unidades de potencia correspondientes.



y la potencia aparente de salida se expresa por:

$$S = 3V_o I_A$$

de tal manera que los ejes verticales y horizontales de esta figura 12, se pueden redimensionar en términos de potencia real y reactiva en la figura 13. El factor de conversión indispensable para el cambio de escala de los ejes, de voltios en voltamperios

(unidades de potencia) es $3V_o/X_s$

$$P = 3V_o I_o \cos \phi = 3V_o (X_s I_A \cos \phi) / X_s$$

$$Q = 3V_o I_o \sin \phi = 3V_o (X_s I_A \sin \phi) / X_s$$

Sobre los ejes del voltaje, el comienzo del diagrama fasorial está en V_o sobre el eje horizontal, de donde, el origen del diagrama de potencia está en:

$$Q = 3V_o(-V_o)/X_s$$

$$Q = -3V_o^2/X_s$$

La corriente de campo es proporcional al flujo de la máquina y el flujo es proporcional a $E_A = k\omega$. La longitud correspondiente a E_A en el diagrama de potencia es:

$$D_E = 3E_A V_o / X_s$$

La corriente de armadura I_A es proporcional a $X_s I_A$ y a la longitud correspondiente a $X_s I_A$ sobre el diagrama de potencia es $3V_o I_A$.

La curva de capacidad del generador sincrónico se ilustra en la figura 14. Es una gráfica de P contra Q , con potencia real P en el eje horizontal y potencia reactiva Q en el eje vertical. Las líneas de la corriente constante del inducido I_A , aparecen como líneas de $S = 3V_o I_A$ constante, las líneas son círculos concéntricos cuyo centro está en el origen. Las líneas de corriente de campo constante, corresponden a las líneas de la E_A constante, que aparecen con círculos con magnitud de $3E_A V_o / X_s$ con centro en el punto.

$$Q = -3V_o^2/X_s$$

El límite de la corriente de inducido aparece como el círculo que corresponde a la I_A nominal o a los kilovoltamperios nominales y el límite de la corriente de campo se representa como un círculo que corresponde a las I_F o E_A nominales. Cualquier punto que caiga dentro de ambos círculos, es un punto seguro para el funcionamiento seguro del generador.

También es posible mostrar otras limitaciones sobre el diagrama tales como la potencia máxima del motor primario (en este caso sería la turbina de vapor) y el límite de estabilidad estática. Una curva de capacidad, que también refleja la potencia máxima del motor primario, puede verse en la figura 15.

Figura 14. Curva de capacidad resultante del generador.

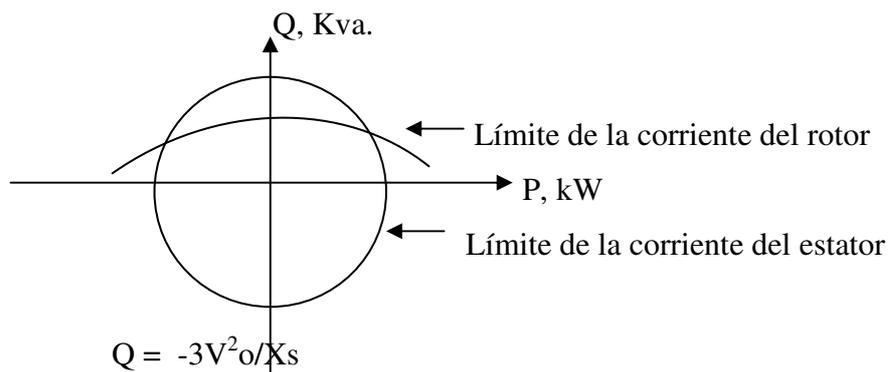
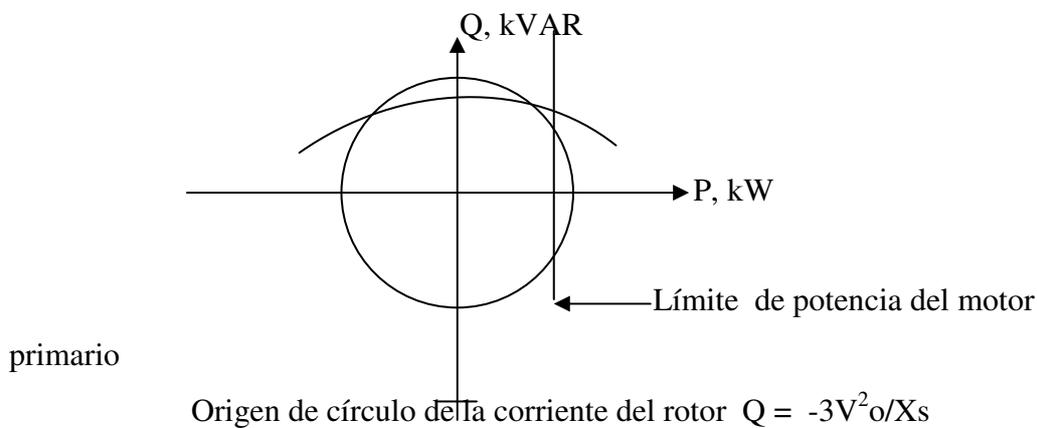


Figura 15. Diagrama de capacidad que muestra el límite de la potencia del motor primario



3.4.4 Características de operación de los condensadores

3.4.4.1 General

La condensación del vapor de escape de la turbina y drenes se efectúa en el condensador, además de la extracción de algunos gases incondensables. Se utiliza como cambiador de calor con mezcla de agua de enfriamiento.

Los más comunes se fabrican con tubos rectos, paralelos horizontales y fijos entre placas, deben tener un coeficiente de transmisión de calor aceptable para disminuir la temperatura de condensado, con materiales de aleación de cobre con diámetro interior en 19 y 32 mm. y espesor de paredes ente 1 y 1.5mm.

El condensador se localiza a la salida de la turbina de baja presión. Las condiciones principales para una buena operación de los condensadores son:

Estanqueidad entre las cámaras de vapor, el agua de enfriamiento y mantenimiento de la superficie interior de los tubos.

Con limpieza se conserva un coeficiente de transmisión de calor aceptable.

3.4.4.2 Condiciones para el dimensionado

El condensador es el encargado de producir una contrapresión económica en el escape de la turbina, esta depende de muchas variables, pero las más importantes son la superficie del condensador, velocidad, temperatura del agua de circulación y flujo de vapor al condensador. El dimensionado correcto de un condensador debe considerar variables como longitud y diámetro de tubos, superficie de

transferencia de calor y velocidad del agua, así como cargas en las turbinas y temperatura del agua de circulación.

Los siguientes criterios se aplican para el dimensionado del condensador:

Carga de vapor, vacío del condensador, número de pasos de agua, diámetro de los tubos, longitud de los tubos material de los tubos, velocidad del agua de enfriamiento, factor de limpieza y costos.

3.4.4.3 Características técnicas de los condensadores

- a) Superficie del condensador, en m^2
- b) Temperatura de condensador en $^{\circ}C$
- c) Temperatura de entrada del agua de enfriamiento, en $^{\circ}C$
- d) Temperatura de salida del agua de enfriamiento, en $^{\circ}C$
- e) Coeficiente de calor de transmisión de calor en $Kcal/ m^2 \cdot m \cdot ^{\circ}C$
- f) Flujos de vapor al condensador en $Kg./s$
- g) Vacío en mm de Hg
- h) Presión en kg/cm^2
- i) Flujo de agua de circulación o de enfriamiento
- j) Material, cantidad, diámetro, y longitud de los tubos de condensación
- k) Superficie de transferencia de calor

3.4.5 Especificaciones generales del Equipo de la planta

- a) Unidad de generación eléctrica potencia nominal 2 MVA
- b) Voltaje nominal 13,000 voltios
- c) Factor de potencia 0.85
- d) Voltaje nominal de excitación 50 c.c.
- e) Tipo de conexión estrella
- f) Velocidad 3,600 r.p.m.
- g) Velocidad máxima 4,320 r.p.m.
- h) Eficiencia 88% del generador
- i) Temperatura nominal 510 F°
- j) 3 fases
- k) 3 polos
- l) Frecuencia de 60 hz
- m) Amperios nominales 77 amperios
- n) La caldera usa 6 quemadores
- o) Presión nominal 8 kg/cm²
- p) La Turbina tiene potencia nominal de 2.2 MW
- q) Trituradoras de residuo de 20 Tm/día
- r) Faja transportadora 20 Tm/h

3.5 Análisis Económico

La siguiente tabla indica los supuestos para realizar el análisis económico de la planta, se detallan todos aquellos gastos como la tasa de interés, financiamiento estimado, anualidad, seguros y todos expresados en dólares de USA. Se toma el análisis con el supuesto de que el 100% será capital financiado.

La anualidad se obtiene de realizar un cálculo entre la tasa de interés de capital, el periodo de pago y el valor del compromiso bancario o préstamo.

Anualidad = (Interés + inversión) / tiempo para pagar el capital en años.

Tabla III. Supuesto del análisis económico

SUPUESTOS DEL ANÁLISIS		
Porcentaje de préstamo		100.00%
Periodo de vida útil		10 años
Tasa de interés del financiamiento		6.00%
Monto de financiamiento		\$2,503,075
Anualidad		\$606,275

3.5.1 Costos de inversión

La inversión inicial para el desarrollo de todo proyecto termoeléctrico se refiere a todo el equipo y gastos necesarios para levantar la planta, a continuación se dan los datos materiales necesarios.

Tabla IV. Inversión en Equipo

INVERSIÓN	
Generador de vapor, turbinas y generador eléctrico	\$1,800,000
Casa de monitoreo y control	\$40,000
Red de tierras	\$18,000
Protecciones	\$60,000
Subestación	\$300,000
Tubería	\$15,200
Cableado	\$90,000
Obra civil	\$150,000
Trituradoras de residuos	\$ 6,500
Faja transportadora	\$ 3,375
Diseño	\$20,000
Total	\$2,503,075
Costo / kVA instalado	\$1,252

Fuente: Ingeniería, montajes, Procesos de fabricación, pre-estudios, estudios de

prefactibilidad técnica y económica, especificaciones técnicas generales y especificaciones para nuevos proyectos y/o ampliaciones de proyectos existentes. Ejecución de proyectos llave en mano. T E C N I N T E G R A L S.A. K 88 61-45 SUR BOSA. Bogotá –Colombia. Teléfonos (572) 7771290 e-mail correotecnintegral.com.

Las medidas de mitigación para la generación de energía eléctrica con residuo de palma de aceite están incluidas en el precio del generador de vapor. Allí es donde se utiliza para controlar las partículas que son controladas por filtros de mangas, equipo de control de gases, depuración seca y húmeda, esta compañía TECNINTEGRAL es especializada en residuo de palma de aceite.

3.5.2 Costo de operación y mantenimiento

La operación y mantenimiento para generar energía eléctrica de la planta termoeléctrica, utiliza personal de mantenimiento, de operación, de seguridad, gerente y administrador. Todo trabajador tiene el derecho de tener sus prestaciones de ley.

Tabla V. Costo de personal

CANTIDAD	PERSONAL	TERMOELÉCTRICA
6	Operador	\$21,500.
3	Mantenimiento	\$21,000
1	Gerente-administrador	\$18,000
10	Total	\$60,500

3.5.3 Elementos del costo de energía generada

Para estimar el precio de la energía eléctrica generada, se toma en cuenta la eficiencia de la maquinaria, de los kilovatios de energía eléctrica instalada, del precio del kilogramo de residuo de palma de aceite, y de la energía que demanda. Todos los costos se hacen en el primer año de funcionamiento, los cálculos siguientes se hacen en base de un año. Ver tabla VI

Tabla VI. Elementos del costo de energía generada el primer año

TIPO	
Eficiencia de maquinaria	0.140647 kwh/kg
Eficiencia de maquinaria	0.007821 tm/kwh
Personal	\$ 60,500
Costos varios (aceites, papelería)	\$ 19,000
Seguros	\$12,515
Interés	\$150,185
Energía de autoconsumo	6,048,000 kwh
Energía a la venta	8,640,000 kwh
Energía neta generada	14,688,000 kwh
Cantidad de residuo utilizado	114,875 tm
Costo de residuo utilizado (\$3.00/tm)	\$ 344,625

3.5.4 Proyecciones de gastos

Este es el primer gasto a analizar para determinar la fortaleza y recuperación de la inversión inicial, se debe estipular un retorno de la inversión para un determinado número de años “ X ” la proyección de gastos se realiza para este estudio de caso a 10 años.

Se debe observar que en el año cero no se obtendrá beneficio alguno, únicamente incurren los gastos de inversión inicial y a partir del año 1 se inician los pagos por, operación y mantenimiento, intereses, impuestos y la utilidad que se obtenga por año. Inicialmente se analizan 4 años y posteriormente, en la hoja electrónica, 10 años que es la vida útil del proyecto.

Los gastos de operación y mantenimiento es la cantidad de dólares necesarios por año para pago de nomina laboral y mantenimiento de la planta, el interés se calcula al 6 % del compromiso bancario sobre un capital de \$ 2,503,075 que da un interés de \$ 150,185 el primer año.

La depreciación toma el valor del compromiso bancario dividido por 10 años estimados en que se pagará el capital invertido así como los intereses, la utilidad bruta se obtiene luego de realizar una resta entre los ingresos de la venta y los todos gastos mencionados anteriormente.

El impuesto a pagar es el Impuesto sobre la Renta ISR, este se estimó en un 12%, la utilidad después de Impuestos UDI se obtiene de la resta entre la utilidad bruta y los impuestos y debido a que la depreciación no es un dinero que se tiene pero que se incluye para castigar el proyecto y tratar de reducir impuestos se debe

sumar nuevamente para regresar el proyecto a los valores reales.

Finalmente, el pago de capital es la utilidad después de impuestos, cuando saldo a capital es negativo el siguiente año el pago a capita es cero, ello significa que hay ganancias.

El saldo a capital que tiene el proyecto desde el primer año baja conforme sea pagado año con año el capital de la inversión y su interés. El saldo a capital tendrá a tomar un valor negativo hasta que en el año 6. Se paga la totalidad del préstamo y el interés del capital, estos cálculos se pueden observar en la hoja electrónica, en el anexo 1, tabla XVII.

Tabla VII. Análisis económico de gasto en los primeros 4 años

Análisis económico de gasto					
Años	0	1	2	3	4
Operación y mantenimiento		\$ 92,015	\$ 92,015	\$ 92,015	\$ 92,015
Costo de residuo		\$ 344,625	\$ 344,625	\$ 344,625	\$ 344,625
Intereses		\$ 150,185	\$ 127,510	\$ 103,173	\$ 77,350
Utilidad Bruta		\$ 429,438	\$ 460,925	\$ 489,081	\$ 522,689
Impuestos		\$ 51,532	\$ 55,311	\$ 58,690	\$62,723
UDI		\$ 377,906	\$ 405,614	\$ 430,391	\$ 459,967
Inversión financiada	\$2,503,075				
Pago de capital		\$ 377,906	\$ 405,614	\$ 430,391	\$ 459,967
Saldo de capital		\$2,125,169	\$1,719,555	\$1,289,163	\$ 829,197

3.5.5 Proyección de ingresos

Los ingresos se obtienen de la venta de energía, de lo que se produzca y sea vendido al usuario. En los datos siguientes de los kwh netos generados anualmente se obtienen al multiplicar 8640 hrs. * capacidad de la maquina kw. Como el valor tarifario del kwh de energía se tomo el promedio de \$0.06919 Si se toma la consideración de la energía generada por el primer año, el precio puede variar año con año, ya sea que el precio del kwh de energía suba o baje, así será la variación en el valor tarifario de la energía de la, termoeléctrica si realizamos la compra venta en el mercado de oportunidad.

Entonces, si el precio del kwh, en el mercado de oportunidad tiende a bajar se puede ver amenazado el proyecto teniendo como consecuencia que no se pueda recuperar la inversión y se tengan pérdidas en el año en que se estimó la recuperación de la misma. Esta tendencia a bajar en el precio spot es la que se tiene actualmente debido a que se está incentivando a que entren al mercado empresas interesadas en proyectos de energía que puedan competir y así reducir el valor del mercado spot.

Los ingresos de la venta son la multiplicación del valor tarifario de kwh por los kwh netos generados.

Tabla VIII. Ingresos por venta de energía en kwh en los primeros cuatro años

INGRESOS					
AÑO	0	1	2	3	4
Precio de venta al público		\$ 0.06919	\$ 0.06979	\$ 0.07005	\$ 0.0758
kwh netos generados		14,688,000	14,688,000	14,688,000	14,688,000
Ingreso por ventas		\$ 1,016,263	\$ 1,025,076	\$ 1,028,894	\$ 1,036,679

3.5.6 Indicadores financieros

Los indicadores financieros muestran si el proyecto es viable, rentable o no. Para esto se realizan los cálculos del valor actual neto y tasa interna de retorno proyectada a los 10 años de vida útil de la planta.

Tabla IX. VAN Y TIR

INDICADORES	FINANCIEROS
VPN (12%)	\$ 891,012
TIR	20.71%

Como se puede observar el Valor Actual Neto VAN en el año cero proyectado a 10 años y con una tasa de oportunidad del 12% proyecta un valor positivo con una Tasa Interna de Retorno TIR indicativa que el proyecto se va a poder pagar por si solo y además podrá pagar los intereses y dejará una ganancia.

3.5.7 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad de un proyecto se realiza para determinar como varía el mismo al cambiar las ventas de energía.

Para realizar un análisis de sensibilidad para este estudio de caso se modifican los valores de la hoja electrónica creada para el análisis económico, se estudia 3 escenarios. En el primero toda la energía producida se vende, en el segundo la mitad del excedente se vende y en el tercero no se vende el excedente de la energía producida.

En el anexo, tabla XVII se varía la energía neta producida donde todo el excedente se vende de la planta, el resto de los gastos siguen constantes el valor actual neto tiene un valor de \$ 891,012 pero la tasa interna de retorno es del 20.71% que es un valor mucho mayor que la tasa de oportunidad del proyecto por lo que esta es una buena inversión, esto indica que se pagará la totalidad de la inversión más los intereses y aun se tendrá un porcentaje de ganancias.

En el anexo, tabla XVIII se varía la energía neta producida donde solo se vende la mitad del excedente, el resto del gasto es constante. Aquí se tiene un valor actual neto de \$ -164,901 y con una tasa interna de retorno del 10.24% que es un valor menor que la tasa de oportunidad del proyecto por lo que se está perdiendo en la inversión total.

En el anexo, tabla XIX se varía la energía neta producida donde no se vende nada de la energía excedente. Los cálculos dieron un valor presente neto de \$ -1,220,814 con una tasa de retorno del 0.00% siendo esta tasa mucho menor que la tasa de costo de oportunidad con lo cual el proyecto no es viable.

Dentro de estos límites, tasa de interés del capital financiado y el valor de la tarifa del proyecto ya no sería viable, la inversión no se recuperaría.

4. IMPACTO AMBIENTAL Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON RESIDUOS DE PALMA DE ACEITE

4.1 Combustión y emisiones

Los recursos forestales consisten, principalmente, en carbono y oxígeno. También contiene hidrógeno, un poco de nitrógeno, azufre, ceniza y agua, dependiendo de la humedad relativa.

Cuando ésta se quema, se efectúa una reacción química que combina su carbono con oxígeno del ambiente, formándose dióxido de carbono (CO_2) y combinando el hidrógeno con oxígeno para formar vapor de agua.

Cuando la combustión es completa, o sea la biomasa se quema totalmente, todo el carbón se transforma en CO_2 . Sin embargo, los árboles y plantas que están creciendo capturan nuevamente el CO_2 de la atmósfera y, al usar los recursos forestales en forma sostenible, en términos netos, no se agrega CO_2 a la atmósfera.

No obstante, cuando la combustión no es completa, se forman monóxido de carbono (CO), hidrocarburo (HC, e.g. metano), N_2O y otras mezclas. Estos sí pueden generar impactos serios en la salud de los usuarios. También son gases de efecto invernadero, por lo que se debería minimizar su formación.

Existen dos razones por las cuales la combustión de biomasa puede resultar incompleta:

Cuando la entrada de aire no es adecuada, no existe suficiente oxígeno disponible para transformar todo el carbono en CO₂. Esto puede ser causado por el diseño inadecuado del equipo, la falta de ventilación y la sobrecarga con el combustible.

Cuando la biomasa tiene una humedad alta, o sea está demasiado mojada, entonces, la temperatura de combustión no es suficientemente elevada como para completar las reacciones químicas.

4.2 Método de incineración

Los residuos que llegan a la planta de incineración se clasifican, para separar las materias que no arden, estos materiales se llevan a un vertedero o bien se utilizan para alimentación de ganado.

El residuo que es aprobado por operarios, es colocado en los quemadores según sea la demanda de energía eléctrica.

El calor que se produce en cierta planta de incineración se utiliza para generar energía eléctrica. La electricidad que se produce compensa los altos costos de mantenimientos de la planta. Pero no todas las plantas incineradoras están diseñadas para aprovechar este recurso energético de residuos de palma de aceite.

4.2.1 Contaminación usando el método de incineración en las personas

Todas las leyes ambientales se han establecido cuando el medio ambiente ha sido contaminado, cuando se ha acumulado suficiente evidencia, para alertar sobre los efectos

que las actividades de regulación ocasionan sobre el medio ambiente y las personas.

Los niveles autorizados de emisión de sustancias tóxicas, tienen en cuenta el riesgo de la acumulación de estas sustancias de la cadena alimentaria. En el caso de las dioxinas la alimentación es la fuente principal de la contaminación (94.7%).

4.2.1.1 La ceniza de fondo y volante son contaminantes

La incineración de toneladas de residuos produce toneladas de cenizas, de las cuales el 10% son volantes, las de mayor tamaño quedan retenidas en los filtros de chimenea y el 90% es ceniza de fondo (mezcladas con las escorias).

Según un estudio del Fondo de Defensa del Medio Ambiente de EE.UU sobre la toxicidad de las cenizas procedentes de incineradoras, las cenizas volantes, las de fondo y la mezcla de ambas contenían niveles suficientes para ser consideradas como tóxicas.

Actualmente, el Tribunal Superior de Justicias de EE.UU. ha dictaminado que las cenizas procedentes de incineradoras son tóxicas. El carácter tóxico de las cenizas obliga a su almacenamiento de depósitos de seguridad, donde son recogidos para su posterior tratamiento (nuevas fuentes de generación de residuos).

Sin embargo, la supuesta seguridad de estos centros no puede garantizarse para más de dos o tres décadas. Se traspa, por lo tanto, el problema a las futuras generaciones.

4.2.1.2 Concentraciones gaseosas permitidas en efluentes de plantas de generación

Tabla X. Límites gubernamentales, Condiciones de referencia: 11% de O₂, 25°C, 1013.kPa.

Componente	Unidades	Límites permitidos EPA	Límites permitidos CCME	Límites permitidos Norma alemana
Parámetros Inorgánicos				
Soólidos	Mg/m ³	34	20	9
CO	Mg/m ³	50-150	57	46
Total HC	Mg/m ³	N/R	N/R	9
SO ₂	Mg/m ³	30	260	46
NO	Mg/m ³	180	400	184
HF	Mg/m ³	N/ R	N/R	1
HCl	Mg/m ³	25	75	9
Parámetros orgánicos				
TEQ	Ng/m ³	0.2	0.5	0.1
Clorofenol				
Bifeniles policromados	Ng/m ³	10	12	8
Clorobenceno	ug/m ³	10	12	8
PAHs	ug/m ³	10	5	N/A

Datos obtenidos del Consejo de Educación y Actualización (CEDUCA)

Tabla XI. Normas de calidad del aire para la emisión de H₂S

País u organización	Límite de emisión	Normas de calidad del aire
USA (California)	2kg/h por pozo durante pruebas o perforación, 100g por MWh durante producción	42 ug/m ³ como máximo/h excedente menos de una vez al año
USA (Hawaii)	8.5 lb/h por pozo durante pruebas o perforación; el mayor de 8.5lb/h por pozo o 150 g/MWh durante producción	Concentración máxima ambiental permitida 35 ug/m ³
EPA		7 ug/m ³ en exposición continua
Italia	Concentración máxima permitida 100 mg/m ³ cuando el flujo H ₂ S es mayor de 170 kg/h Ningún límite si el flujo es menor de 170 kg/h	42 ug/m ³ como el promedio durante 24 horas para algunas áreas urbanas
Nueva Zelanda		70 ug/m ³ como concentración horaria máxima dentro del campo geotérmico

Datos obtenidos del Consejo de Educación y Actualización (CEDUCA)

Tabla XII. Efectos del H₂S sobre los seres humanos y las plantas

Concentración en ug/m³	Efectos sobre seres humanos	Efectos sobre Plantas
1-45	Umbral de olor. No se informa de perjuicios para la salud	Estimulación en crecimiento de lechugas remolacha y alfalfa
10	Umbral de efectos de reflejos	Igual al anterior
	Sobre sensibilidad del ojo a la luz	
500	Olor perceptible	Comienza a causar lesiones en las hojas, defoliación, crecimiento reducido de especies delicadas
4,500		Causa lesiones en las hojas, defoliación, crecimiento reducido de especies delicadas. Ningún efecto sobre uvas, nogal, peras
20000	Máxima exposición laboral permitida par 8 horas (límite de tolerancia de la Conferencia Americana de Higienistas industriales Gubernamentales	
20,000-60,000	Olor fuertemente perceptible pero no intolerable. Concentración máxima causada irritación en los pulmones	

Datos obtenidos del Consejo de Educación y Actualización (CEDUCA)

Continuación de tabla XII.

150,000	Fatiga olfatoria en 2-15 minutos, irritación de los ojos y sistema respiratorio después de 1 hora; muerte entre 8-48 horas	
900,000	Fatal en 30 minutos	
1,500,000	Inconsciencia inmediata y muerte	

Datos obtenidos del Consejo de Educación Continúa y Actualización (CEDUCA)

4.2.1.3 Las incineradoras son fuente de generación de dioxinas y furanos

La formación de dioxinas ocurre al quemar la materia orgánica con compuestos clorados. La incineración de residuos es, por lo tanto una de las fuentes principales de emisión de dioxinas cloradas a la atmósfera.

En la tabla XIII presenta los niveles de dioxinas emitidos en la leche materna de distintos países.

Los niveles de las dioxinas en leche de vaca son superiores en las zonas próximas en las plantas incineradoras de residuos.

Según un informe de la EPA de EE.UU. (1992). Las dioxinas son cancerígenas en el ser humano. Existe un nivel de seguridad de exposición a las dioxinas.

Tabla XIII. Niveles de dioxinas y furanos en la leche materna de distintos países

País	Pg(10)/g de leche materna
EE UU	16.6
Vietnam	18.3
Canadá	18.5
Polonia	20.8
Suecia	22.0
Japón	23.9
Alemania	32.4
Holanda	38.5
Bélgica	39.5

Datos obtenidos de la Asociación Mundial de la Salud (AMS)

A dosis inferiores a las asociadas con el cáncer, ocasionan inmunotoxicidad y alteraciones en los sistemas reproductor y endocrino. Estos efectos podrían ocurrir a los niveles actuales de exposición 1-10 picogramos por kilo de peso vivo y día (pg/k/día).

El poder cancerígeno de las dioxinas es de 2 a 4 veces superior al establecido anteriormente, estando en un rango de 0.3 a 0.6 mg/k/día.

Estas conclusiones se reafirmaron en la nueva revisión de las dioxinas que la EPA presentada en junio del 1994. Se confirma, además, que las fuentes principales de las dioxinas son las procedentes de la combustión de residuos y la alimentación es la vía principal de exposiciones de los seres humanos. Según estos datos, la población infantil esta especialmente desprotegida al recibir mayores dosis que la adulta.

Dioxinas y Cáncer: el poder cancerígeno de las dioxinas a podido ser contestado por diversos autores que relacionan en sus trabajos la aparición de algunos tipos de cánceres en especial el sarcoma de tejidos blandos con la exposición de trabajadores a dioxinas. Jenkis Et al (1992), han realizado un exhaustivo estudio sobre los efectos de las dioxinas sobre la salud publica entre los que menciona el cáncer.

Las dioxinas se conocen como “el veneno de seveso” al ser en esta ciudad italiana donde se produjo un trafico accidente en 1976, en una planta de fabricación de tricloroetano (utilizado en la fabricación de herbicidas), liberándose al medio miles de gramos de dioxinas.

Trece años después del accidente que provocó la muerte de 7,300 animales domésticos y la evacuación de 700 las cuales casi 200 sufrieron cloracne (erosión, cutánea asociada a la exposición aguda a diversos compuestos organoclorados, siendo el más potente el de las dioxinas), se ha publicado un estudio en el que se describe el aumento de casos de cánceres en la sangre y el sistema linfático, en especial el sarcoma linforreticular con una incidencia casi seis veces superior a la esperada en el caso de los hombres, en las mujeres se ha observado un aumento del cáncer del tipo mieloma múltiple, la leucemia, linfoma no “hodgkins” y de tejidos blandos.

Los mismos autores han realizado un estudio comparativo entre los niveles de dioxinas en leche materna de mujeres madrileñas y parisinas siendo superiores los referentes a las mujeres de París. Para los autores, esto puede deberse a la prescencia de incineradoras de residuos en París, de nuevo es necesario incidir en que las regulaciones en materia de “niveles máximos tolerables”, “dosis diarias aceptables”, etc. Están calculadas en bases a un adulto de 70 kilos de peso a lo largo de su vida, en decir, no protege la población infantil.

Dioxinas en los alimentos: la fuente principal de dioxinas para el ser humano es la alimentación, que supone el 95% frente al 5% procedente de la inhalación. Las dioxinas son biocumulativas y su concentración se magnifica a medida que sube en la cadena trófica. Por ello, los niveles de dioxinas son miles de veces superiores en los mamíferos, incluido el humano, que los emitidos por fuentes de incineración.

Tabla XIV. Concentraciones de dioxinas en algunos materiales y fuentes comunes

ORIGEN	CONCENTRACIÓN ng/m ³
Plásticos en general	407
Residuos de secadora de ropa	6
Polvo de aspiradoras	12
Filtro de aire acondicionado	29
Filtro de aire de los vehículos	84
Filtro de aire de las calderas	170
Planta de generación a base de derivados de petróleo	75
Combustión de motor de vehículos	3
Incendios forestales	15

Datos obtenidos de la Asociación América de la Salud Pública

4.2.1.4 Rechazo social a la incineración

La incineración de residuos recibe una amplia oposición ciudadana en prácticamente todos los países, habiendo casos donde no se ha conseguido construir ninguna en los últimos años, por ejemplo Irlanda, Polonia y España.

Las propuestas en los países europeos y americanos se enfrentan a una fuerte oposición ciudadana y también la comunidad médica.

En España, las empresas incineradoras han propuesto la construcción de más de 30 incineradoras desde 1990, propuesta rechazada y paralizada en 25 de ellos y enfrentándose el resto de la oposición ciudadana como son los casos de Madrid, Melilla y Mallorca.

4.2.1.5 Médicos contra incineración

En Canadá el ministro del medio ambiente de Ontario, Ruth Grier, prohibió la incineración de los residuos sólidos en abril de 1991, por el impacto que ocasionaba sobre la salud. Según un comunicado por dicho departamento: “La incineración es incompatible con la reducción, la reutilización y el reciclaje... Es una solución superficial que no ataca la raíz del problema, esto es, debemos generar menos residuos.”

Alemania, durante la conferencia del 19 de septiembre de 1990, 70 delegados de la asociación de médicos alemanes, representado aproximadamente a 12,000 doctores en la medicina, presentaron un manifiesto en el que exigía al gobierno alemán la revocación de las políticas que favoreciesen a la incineración de los residuos y en su lugar pedían que se llevase a cabo una reducción de los residuos de origen, siempre según el manifiesto “en el interés de la gente se supone tenemos que cuidar”.

Lo que critican principalmente los médicos es por emitir las graves consecuencias que las dioxinas, emitidas por las incineradoras, tienen sobre el ser humano: cáncer, inmunosupresión, alteraciones del sistema reproductor y endocrino.

El 28 de octubre de 1993, la Asociación de la Salud en EE.UU. aprobó una resolución en donde advierten el riesgo de las sustancias organocloradas, y la necesidad de eliminar sus fuentes de generación. El mismo día, 228 médicos de

de Palma Mallorca, pertenecientes a la Académica de Ciencias Medicas de Cataluña Y Baleares, firmaron un manifiesto contra la incineración de residuos por los efectos nocivos que ocasionan en el medio ambiente y la salud publica.

4.2.2 Contaminación agrícola

4.2.2.1 Posibles soluciones a la incineración

Los principios básicos de un programa en gestión de los residuos, alternativos a la incineración deberían ser:

1. Prevenir la generación de los residuos en origen
2. Evitar/reducir la explotación de los recursos naturales.

El cumplimiento de estos principios esta ligado necesariamente a la reducción del consumo, la fabricación de productos a partir de energías renovables con tecnologías limpias para evitar la generación de residuos tóxicos, y que sean fáciles de reparar y utilizar. Al final de la vida de los productos, deberían ser reciclables, esto es reintroducidos de nuevo a un ciclo de reproducción.

4.3 Sistemas para el control de contaminación atmosférica

Las emisiones atmosféricas gaseosas y en partículas procedentes de los sistemas para la recuperación de recursos pueden controlarse con varias clases de equipos.

1. Precipitadores electrostáticos, filtros de marga, filtros electrostáticos de lecho de grava (control de partículas)

2. Separación en origen, controles de combustión, tratamiento de los gases de combustión
3. Separación en origen, depuración húmeda o seca (control de gases)
4. Controles de combustión
5. Separación en origen, controles de combustión, control de partículas (control de las contaminación no específica)

Los dispositivos de control se seleccionan para conseguir la eficacia de separación requerida, que se define como

$$E = 100\% (W_{ent.} - W_{sal.}) / W_{ent.}$$

Donde:

E = Eficiencia de separación, porcentaje.

W_{ent.} = Peso de Entrada de contaminante.

W_{sal.} = Peso de salida del contaminante.

4.3.1 Equipo para controlar las partículas

Las partículas finas (10µm) se controlan con varios tipos de tecnologías:

4.3.1.1 Precipitador electrostático

Es un dispositivo de control de partículas utilizado en las incineradoras de residuos sólidos que fue capaz de separar partículas finas.

Funciona bajo el principio de atracción. Un voltaje alto negativo, 20,000 a 100,000 voltios, aplicado a los electrodos de descarga, generando un gran campo eléctrico entre los electrodos de descarga y el colector, las partículas en el gas adquieren una carga negativa mientras pasan a través del campo eléctrico. Por su carga las partículas son atraídas por el electrodo colector con toma de corriente. Después de ser recogidas sobre las placas, las partículas se separan mediante la vibración mecánica de las placas.

4.3.1.2 Filtros de mangas

El filtro de mangas es la tecnología elegida para la mayoría de las incineradoras de residuos. Es un dispositivo intrínsecamente sencillo. Contiene bolsas de filtrar que son ubicadas en forma paralela sobre una estructura. Las partículas de gas de la combustión son atrapadas en una capa de polvo que gradualmente se va acumulando sobre la superficie de manga. Le permite la capa de polvo que la manga filtre partículas tan pequeñas $0.1\mu\text{m}$. Mientras las partículas se acumulan sobre la superficie de la manga, aumenta gradualmente la caída de presión sobre el filtro de mangas, las partículas se separan de las bolsas que filtran mediante muchas técnicas, incluyendo: agitación mecánica inversión de la corriente de aire y chorro de pulsante.

4.3.1.3 Filtro electrostático de grava

Es un dispositivo híbrido que emplea la filtración mecánica y la atracción

electrostática. Esta tecnología se ha utilizado en hornos que emplean madera y, más recientemente en las incineradoras de residuos sólidos de Pittsfield, Massachusetts. Se ha constatado una tasa de emisión de partículas de 0.035 gramos.

4.3.1.4 Equipo para el control de gases

Las emisiones incontroladas de la incineración de residuos sólidos pueden contener ácido clorhídrico (HCl), ácido fluorhídrico (HF), dióxido de nitrógeno (NO₂) y dióxido de azufre (SO₂). Los ácidos clorhídricos y fluorhídricos se emiten como aerosoles finos y los dióxidos de nitrógeno y azufre se emiten en forma de gas que se combina con las gotas de agua en la atmósfera para formar llovizna de ácido nítrico y ácido sulfúrico. Estas lloviznas ácidas producen una reducción en la visibilidad de la corrosión de metales y nieblas y lloviznas ácidas. Existen varios métodos para controlar los gases ácidos:

4.3.1.4.1 Depuración húmeda

Se utiliza la depuración húmeda con una solución de cal en un lavador de venturi en las incineradoras de residuos. Es un sistema bastante complejo y está formado por un lavador de venturi y un desvaporizador, un apagador de cal y un filtro de prensa para deshidratar todos los lodos de la depuración antes de la evacuación. También forma parte del sistema un intercambiador de calor que primero enfría los gases de la combustión antes de la depuración y después recalienta los gases antes de la evacuación de la chimenea.

4.3.1.4.2 Depuración seca

Los sistemas de depuración seca son otro método de tratamiento de gases ácidos.

Se utilizan la técnica: inyección en seco, se rocía una solución de cal en la cámara de reacción, neutralizando los gases ácidos. El agua en la disolución de cal en la cámara de reacción, neutralizando los gases ácidos.

El agua en la solución se evapora completamente, en forma que no hay lodos líquidos que tratar, se añade un agente aglomerante patentado, Tesisirb, a la corriente del gas de combustión después de la cámara de inmersión para ayudar a la coagulación de las partículas muy finas, antes de su recogida en el filtro de mangas. Tiene eficiencia de separación para HCl y SO₂ de hasta un 99% en su categoría.

4.3.1.5 Equipo para el monóxido de carbono y hidrocarburo

El control de monóxido de carbono (CO) y de los hidrocarburos (HC) está directamente relacionado con la eficiencia de la incineración y esta en función del diseño y la operación del sistema. La formación de CO y HC se produce por la incineración incompleta de los residuos, debido a una incineración rica en combustible (sobrecarga del horno) y la insuficiencia de temperatura provocada por el alto contenido de humedad de los residuos. El uso de oxígeno adicional es la primera herramienta para controlar la producción de CO Y HC. El oxígeno adicional se equilibra para evita una combustión a temperatura demasiado alta y la generación de excesivas emisiones de gases.

El equilibrio de estos factores de incineradora modernas de residuos se lleva acabo mediante la separación continua de las emisiones (SCE) de los constituyentes del gas e combustión (CO,CO₂, NO_x, HC, O₂). Las lecturas de CO y O₂ se utilizan para equilibrar el aire en exceso. También se utilizan las lecturas de temperatura en las partes cruciales del horno par ayudar en el control.

4.3.1.6 Equipo para el control de dioxinas

Los controles de la combustión son la estrategia de control principal para producir las emisiones de dioxinas. Se ha constatado que existe una fuerte correlación entre la temperatura, el tiempo de residencia y las emisiones de dioxinas.

También se ha constatado que las condiciones que minimizan también la generación CO minimizan también la generación de dioxinas. Por lo tanto se pueden usar CO como sustituto para supervisar las emisiones de dioxinas. La técnica de supervisión es significativa porque se puede medir CO en tiempo real con sistemas de supervisión continuos. También es importante el control de partículas para controlar las emisiones de metales y de dioxinas. Los controles de combustión siguen siendo el principal controlador de las dioxinas.

CONCLUSIONES

1. Es factible utilizar el residuo de palma de aceite para producir electricidad, dado que tiene un poder calorífico muy atractivo y no necesita secado, previamente para la utilización.
2. Para la región de Coatepeque es posible implementar una planta con una capacidad máxima de 3 MW.
3. La utilización de una planta de 2 MVA en la finca San Juan Horizonte con un consumo de 0.7 Mwh es factible solo si todo el excedente (1.3 Mwh) es colocado en el Mercado Mayorista.
4. El impacto ambiental es menos perjudicial que otras tecnologías.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda analizar la oportunidad de colocar los excedentes de energía de la planta de San Juan Horizonte para garantizar la rentabilidad de instalación de una planta de 2 MVA.
2. Si no hay oportunidad o se complica demasiado la venta de excedentes, se recomienda analizar una instalación de una planta de 1 MVA. sólo el consumo propio.
3. Debido a que año con año la población crece y, por lo tanto, la cantidad de familias y la demanda de energía es cada vez mayor, es necesario que la industria de Guatemala con cultivo de palma de aceite considere la posibilidad de generar energía eléctrica por medio de residuos de palma de aceite, por que eliminarían dos problemas que son, el de residuo de la palma de aceite que es biodegradable a largo plazo y la demanda de la energía eléctrica.
4. Se debe tomar en cuenta que cualquier tipo de generación de energía, o tratamiento que se le dé al residuo de palma de aceite, siempre existirá contaminación; y, por otra parte, es de resaltar que con el residuo de palma de aceite se produciría una cantidad económica de energía ayudando en una proporción el problema energético del país.

REFERENCIAS

1. **BIOMASA COMO ENERGÍA ELÉCTRICA,** htm.
w.w.w.biomasa.com.
2. GAFFERT, G. A. **CENTRALES DE VAPOR,** México: Editorial Reverté, S. A, 1,973.
3. MORSE, FREDERICK T. **CENTRALES ELÉCTRICAS,** Primera edición, México: Compañía Editorial Continental S. A. De C. V., 1,961
4. QUESADA, GERMÁN. **CULTIVO E INDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE.** palma@infoagro.go.cr
5. ROJAS, S. **II CONGRESO MUNDIAL VASCO.** Universidad de Extremadura Editorial Victoria-Gasteiz. 1,988.
6. SEVERNS, W. H., et. Al. **ENERGÍA MEDIANTE VAPOR, AIRE O GAS,** Quita Reimpresión, México: Editorial Reverté S. A. De C.V. 1,994.
7. **TECNINTEGRAL S. A.** Diseño & Hosting Micronatsch Ltda. cor@tec.com

REFERENCIAS

1. CHANG, Raymond, **QUÍMICA**. Cuarta edición en español. Editorial McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A.
2. DONALD, G. **MANUAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**. Décimo tercera edición. México: Editorial McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A.
3. Escuela Celaya Comisión Federal de electricidad. **INTRODUCCIÓN A CENTRALES TERMOELÉCTRICAS**, México: primera edición, 1,985
4. ETEVENSON, William D. **ANÁLISIS DE SISTEMAS DE POTENCIA**. Primera Edición en español, México: Editorial McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A., 1,996
5. Generadores eléctricos Bravo, S. L. Costada (Madrid)
w.w.w.gebravo.com.
5. FACULTAD de ingeniería. **GUÍA PARA LA APROBACIÓN DE PUNTOS DE TESIS**. Guatemala: 1996, 4pp.
6. FITZGERALD, A. E. **MAQUINAS ELÉCTRICAS**. Segunda edición en español, México: Editorial McGRAW-HILL, S.A., 1,992
7. JACINTO, Viqueira Landa. **REDES ELECTRICAS**. Segunda edición en español, México: editor ial Representaciones de Ingeniería, S.A. 1,970.
9. JUNTA directiva. **ESPECIFICACIONES FORMALES PARA EL TRABAJO GRADUACIÓN**. Guatemala: 2000, 26pp.
10. JUNTA directiva. **INSTRUCTIVO PARA EL PROTOCOLO DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN**. Guatemala: 2000, 12pp.

11. **MANUAL DE BIOMASA**, 1ª edición San José, Costa Rica, Editorial Copyribht2002, BUN-CA, Septiembre del 2002.
12. Ministerio de Energía y Minas. **MANUAL DE OPERACIÓN DEL BIODIGESTOR**.
13. OLLE I. Elgerd. **ELECTRICIDAD Y ENERGIA**. Sistemas de energía.
14. OTTO García **“PROBLEMAS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD”** (Guatemala: Consejo de educación continua y actualización 1,997).
15. **ROSS, R. D.** Et. Al. La industria y la contaminación del aire. Traduc. María Ortiz. Primera Edición. México: Compañía Editorial Diana, S. A. 1,974.
16. SANCHEZ A. G. **MANUAL AUDITORIA AMBIENTAL EN LA INDUSTRIA GUATEMALTECA**, tesis.
17. TRABISA **“Planta de tratamientos de residuos sólidos urbanos”**.1995

ANEXOS

Tabla XV. Costos entre generar energía usando residuos de palma de aceite y otras formas de generación.

EMPRESA	EXPASA	INTECCSA	FABRIGAS	ORZUNIL
DESCRIPCION				
TIPO DE ENERGÍA	RESIDUO DE PALMA OIL	TÉRMICA	HIDRAULICA	GEOTERMICA
COSTO DE LA ENERGÍA POR KW-HORA	Q. 0.5187	Q. 0.87	Q. 0.51	Q. 0.39
CAPACIDAD (KW)	2000 KW	6,400 KW	10,000 KW	24,000 KW
DURACIÓN DE CONTRATO	10 años	3 años	15 años	25 años
TIPO DE CONTRATO	CONSUMO Y COMPRA DE ENERGÍA	COMPRA DE ENERGÍA	COMPRA DE ENERGÍA	COMPRA DE ENERGÍA

Datos proporcionados por la Empresa Eléctrica de Guatemala

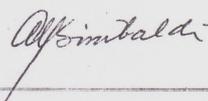
Tabla XVI. Comparación entre usar residuos de palma de aceite para generar energía eléctrica y plantas térmicas.

EMPRESA DESCRIPCION	EXPASA	ENRON	IMSA	TAMPA	INGENIO PANTA- LEON
TIPO DE ENERGÍA	RESIDUO DE PALMA OIL	TÉRMICA	TÉRMICA	TÉRMICA	TÉRMICA
COSTO DE LA ENERGÍA POR KW-HORA	Q. 0.5187	Q. 0.23	Q. 0.38	Q. 0.47	Q. 0.37
CAPACIDAD (MW)	2 MW	110 MW	38.2 MW	78 MW	8.4 MW
TIPO DE CONTRATO	CONSUMO Y COMPRA DE ENERGÍA	COMPRA DE ENERGÍA	COMPRA DE ENERGÍA	COMPRA DE ENERGÍA	COMPRA DE ENERGÍA

Algunos datos son proporcionados por la Empresa Eléctrica de Guatemala



FACULTAD DE CC. QQ. Y FARMACIA
Edificio "T-12"
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

ESCUELA DE QUIMICA UNIDAD DE ANALISIS INSTRUMENTAL Edificio T-13, Ciudad Universitaria, Zona 12 Tel: 4769844 y 4760790 al 94 ext. 274		INFORME DE ANÁLISIS DE LABORATORIO QUÍMICO	
NOMBRE COMÚN O COMERCIAL DE LA MUESTRA Muestra de residuos de palma africana		No. de Código / Marca del Remitente Fibra	
No. registro: 0407388	Empresa/Institución: Facultad de Ingeniería Remitente/Solicitante: Carlos Monroy Ramos		
Fecha recepción 12/07/2004	Muestras recibidas por SE	Tipo de recipiente Recipiente plástico	Peso neto ***
DETERMINACIONES SOLICITADAS: Determinación de contenido calórico, porcentaje de humedad y de cenizas.			
RESULTADOS DE ANÁLISIS			
Parámetros evaluados	Unidades	Valor	
Contenido Calórico	Calorías/gramo	3,577.81	
Porcentaje de Humedad		13%	
Contenido de Cenizas		8.82%	
Costo por muestra: Q 200.00			
Fecha: 13/08/2004	Analista(s) PJ	Ref. Registro Análisis: EDC-1 p: 235-238	Costo total facturado: Q 200.00
Firma: 	Recibido:		Fecha:



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE CC. QQ. Y FARMACIA
Edificio "T-12"
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

ESCUELA DE QUIMICA UNIDAD DE ANALISIS INSTRUMENTAL Edificio T-13, Ciudad Universitaria, Zona 12 Tel: 4769844 y 4760790 al 94 ext. 274		INFORME DE ANALISIS DE LABORATORIO QUÍMICO	
NOMBRE COMÚN O COMERCIAL DE LA MUESTRA Muestra de residuos de palma africana		No. de Código / Marca del Remitente Cáscara	
No. registro: 0407387		Empresa/Institución: Facultad de Ingeniería Remitente/Solicitante: Carlos Monroy Ramos	
Fecha recepción 12/07/2004	Muestras recibidas por SE	Tipo de recipiente Recipiente plástico	Peso neto ***
DETERMINACIONES SOLICITADAS: Determinación de contenido calórico, porcentaje de humedad y de cenizas.			
RESULTADOS DE ANÁLISIS			
Parámetros evaluados	Unidades	Valor	
Contenido Calórico	Calorías/grame	1,818.20	
Porcentaje de Humedad		10%	
Contenido de Cenizas		3.18%	
Costo por muestra: Q 200.00			
Fecha: 13/08/2004	Analista(s) PJ	Ref. Registro Análisis: EDC-1 p: 235-238	Costo total facturado: Q 200.00
Firma: <i>Alfonso Simbalda</i>	Recibido:		Fecha:



ANALISIS ECONOMICO DE LA PROPUESTA DEL RESIDUO DE PALMA DE ACEITE COMO COMBUSTIBLE PARA GENERAR ENERGIA ELÉCTRICA.

INSUMOS TÉCNICOS	INVERSION	Porcentaje de Prestamo	100%	PERSONAL			
Potencia instalada en KVA	2,000	Termoeléctrica	\$1,800,000	Periodo de vida útil en años	10	Mantenimiento	\$21,500
Potencia instalada en KV	1,700	Casa de monitoreo de control	\$40,000	Tasa de interés de financiamiento	6%	Operador	\$21,000
Tarifa promedio por kwh	\$0.06919	Red de herramientas	\$18,000	Monto de financiamiento	\$2,503,075	Gerente Administrador	\$18,000
Energía de autocconsumo kwh	6,048,000	Protecciones	\$60,000	Costos varios (Aceites y Papelarias)	\$19,000	Total	\$60,500
Energía a la venta kwh	8,640,000	Subestación	\$300,000	Seguros	\$12,515		
Energía neta generada kwh	14,888,000	Tubería	\$15,200	Annualidad	\$608,275.34		
Eficiencia de Maq. tm/kwh	0.007821	Cableado	\$90,000				
Cantidad de residuo en tm	114,875	Obra Civil	\$150,000				
Precio de residuo \$	3.00	Trituradoras de residuo	\$6,500				
Costo de residuo \$	344,625	Faja Transportadora	\$3,375				
		Disaño	\$20,000				
		Total	\$2,503,075				
		Costo / KVA instalado	1,251.54				

TABLA XVII Venta de toda la energía producida por la planta termoeléctrica.

ANOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS											
Precio de venta de kwh	\$ 0.06919	\$ 0.06979	\$ 0.07005	\$ 0.07058	\$ 0.07105	\$ 0.07209	\$ 0.07350	\$ 0.07509	\$ 0.07905	\$ 0.07963	\$ 0.07963
Ingreso de la venta	\$1,016,263	\$1,025,076	\$1,028,894	\$1,036,679	\$1,043,582	\$1,058,858	\$1,079,568	\$1,102,922	\$1,146,398	\$1,169,605	\$1,169,605
Personal, Costos y Seguro	\$92,015	\$92,015	\$92,015	\$92,015	\$92,015	\$92,015	\$92,015	\$92,015	\$92,015	\$92,015	\$92,015
Interés	\$150,185	\$127,510	\$103,173	\$77,350	\$49,752	\$20,352	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Costo de residuo	\$344,625	\$344,625	\$344,625	\$344,625	\$344,625	\$344,625	\$344,625	\$344,625	\$344,625	\$344,625	\$344,625
Utilidad Bruta	\$429,438	\$460,925	\$489,081	\$522,689	\$557,191	\$601,886	\$642,928	\$666,282	\$709,758	\$732,966	\$732,966
Impuestos	\$51,532.80	\$55,311	\$58,690	\$62,723	\$66,863	\$72,226	\$77,151.37	\$79,953.84	\$85,171.02	\$87,955.86	\$87,955.86
UDI	\$377,906	\$405,614.39	\$430,391	\$459,967	\$490,328	\$529,660	\$565,776.71	\$586,328.16	\$624,587.46	\$645,009.66	\$645,009.66
Inversion financiada	\$2,503,075										
Pago de capital	\$377,906	\$405,614	\$430,391	\$459,967	\$490,328	\$529,660	\$565,776.71	\$586,328.16	\$624,587.46	\$645,009.66	\$645,009.66
Saldo de Capital de Inversion	\$2,125,169	\$1,719,555	\$1,289,163	\$829,197	\$338,869	-\$190,790	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Datos del VAN	\$2,503,075	\$579,623	\$588,436	\$592,254	\$600,039	\$606,942	\$622,218	\$642,928	\$666,282	\$709,758	\$732,966
VAN (12%)	\$891,012										
TIR	20.710%										

