



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UNA PLANTA TERMOELÉCTRICA PILOTO,
ALIMENTADA CON EL RESIDUO ORGÁNICO DEL CAMPUS CENTRAL DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Carlos Manuel Quán Krueck

Asesorado por la MSc. Inga. Rocío Elizabeth Reyna Rodríguez

Guatemala, abril de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UNA PLANTA TERMOELÉCTRICA PILOTO,
ALIMENTADA CON EL RESIDUO ORGÁNICO DEL CAMPUS CENTRAL DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARLOS MANUEL QUÁN KRUECK

ASESORADO POR LA MSC. INGA. ROCÍO ELIZABETH REYNA RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, ABRIL DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Núñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UNA PLANTA TERMOELÉCTRICA PILOTO,
ALIMENTADA CON EL RESIDUO ORGÁNICO DEL CAMPUS CENTRAL DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 22 de marzo de 2017.

Carlos Manuel Quán Krueck



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

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



ADSE-MEAPP-004-2017

Guatemala, 07 de febrero de 2017.

Director
Francisco Javier González López
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del (la) estudiante **Carlos Manuel Quan Krueck** carné número **2009-15399**, quien opto la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Energía y Ambiente.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

Ing. Rocío E. Reyna
Colegiado No. 1716

"Id y Enseñad a Todos"

MSc. Ing. Rocío Elizabeth Reyna Rodríguez
Asesor (a)

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

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

MSc. Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
Director
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo
/la



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística de su Proyecto de Graduación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UNA PLANTA TERMOELÉCTRICA PILOTO ALIMENTADA CON EL RESIDUO ORGÁNICO DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario Carlos Manuel Quán Krueck considerando que el protocolo es viable para realizar el Diseño de Investigación procedo aprobarlo, ya que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad de Ingeniería.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Francisco Javier González López
Director

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica



Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 194.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UNA PLANTA TERMOELÉCTRICA PILOTO, ALIMENTADA CON EL RESIDUO ORGÁNICO DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Carlos Manuel Quán Krueck**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, abril de 2017

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por todas sus bendiciones, por darme las fuerzas para superar los obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.
- Mis padres** Carlos Quán y Hilda Krueck. Por su apoyo y amor incondicional.
- Mis tíos** Juan Filippi, Lucrecia Quán de Filippi y Manuel Krueck (q. e. p. d.). Por los ánimos y el apoyo que siempre han mostrado.
- Mis abuelos** Rafael Quán, Lucrecia Mencos de Quán, Gilda Juárez y Juan Krueck (q. e. p. d.). Por todas sus enseñanzas, sabiduría y cariño.
- Mi prima** Ginna Filippi. Por su sinceridad, franqueza y buen humor.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala Por ser mi *alma máter*.

Facultad de Ingeniería Por los conocimientos que me ha conferido.

Mis asesores Rocío Reyna y Erick Castillo. Por sus conocimientos y la confianza que han puesto en mí.

Mis mejores amigos Diego Oliva, Diego Maldonado, Miguel Fuentes y Maira Zecaida. Por estar ahí siempre que los he necesitado.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	3
1. INTRODUCCIÓN	5
2. ANTECEDENTES	7
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
3.1. Descripción del problema	13
3.1.1. Uso de la biomasa en Guatemala	13
3.1.2. Residuos orgánicos del <i>campus</i> central.....	13
3.1.3. Situación actual de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería	14
3.2. Formulación del problema	18
3.2.1. Preguntas de investigación	19
3.2.1.1. Pregunta central.....	19
3.2.1.2. Preguntas auxiliares.....	19
3.3. Delimitación del problema.....	20
3.2.2. Delimitación sectorial	20
3.2.3. Delimitación geográfica.....	20
3.2.4. Delimitación tecnológica	20
4. JUSTIFICACIÓN	23
5. OBJETIVOS	25
6. MATRIZ DE COHERENCIA	27
7. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	29
8. MARCO TEÓRICO.....	31
8.1. Plantas térmicas	31

8.2.	Eficiencia energética	33
8.3.	Poder calorífico	34
	8.3.1. Poder Calorífico Inferior (PCI).....	35
	8.3.2. Poder Calorífico Superior (PCS).....	35
8.4.	Biomasa	35
	8.4.1. Tipos de biomasa	36
	8.4.2. Conversión de la biomasa en energía	37
	8.4.2.1. Métodos termoquímicos.....	37
	8.4.3. Balance CO_2 neutro.....	38
	8.4.4. Ventajas del uso sostenible de la biomasa.....	39
8.5.	Plantas termoeléctricas de biomasa.....	40
8.6.	Generador Distribuido Renovable (GDR)	43
	8.6.1. Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Autoproductores con Excedentes de Energía (NTGDR).....	43
9.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO	47
10.	METODOLOGÍA	49
	10.1. Datos y variables.....	49
	10.1.1. Datos	49
	10.1.2. Variables.....	50
	10.2. Tipo de estudio.....	50
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	51
12.	CRONOGRAMA	53
13.	RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	55
	13.1. Factibilidad del estudio	56
14.	BIBLIOGRAFÍA.....	57

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figuras

1.	Alimentación de ingenio azucarero con chip de eucalipto	8
2.	Modificación del hogar para la quema de biomasa	9
3.	Vista aérea de central térmica.....	11
4.	Matriz energética del <i>campus</i> central 2015	12
5.	Árbol del problema, análisis de causas y efectos	15
6.	Árbol de medios.....	16
7.	Árbol de fines	17
8.	Diagrama de necesidades a cubrir y esquema de solución	30
9.	Central térmica convencional	32
10.	Bomba calorimétrica no adiabática de Emerson	34
11.	Fuentes de biomasa	36
12.	Ciclo de la biomasa	39
13.	Central de cogeneración mediante biomasa	41
14.	Marco legal del subsector eléctrico en Guatemala	45
15.	Cronograma	53

Tablas

I.	Análisis de biomosas utilizadas durante las primeras pruebas de hibridación	10
II.	Matriz de coherencia	27
III.	Recursos necesarios	55

1. INTRODUCCIÓN

La instalación de una planta termoeléctrica en el *campus* central de la Universidad de San Carlos permitirá el aprovechamiento y transformación de la energía presente en la biomasa. También ayudará a reducir el consumo energético del *campus* y la emisión de gases de efecto invernadero al ambiente durante la quema a cielo abierto de los residuos orgánicos, dándoles un propósito útil y responsable con el medio ambiente.

Se espera aportar una herramienta didáctica para las distintas unidades académicas de la Universidad de San Carlos, específicamente para la Facultad de Ingeniería y principalmente para uso de las escuelas de Mecánica y Mecánica Eléctrica. El enfoque de estas dos escuelas, en resumen, es la generación de potencia, siendo una solución para el desaprovechamiento energético que existe de la biomasa de la broza y de los residuos orgánicos de la producción agrícola del CEDA, al reducir la tarifa de energía eléctrica emitida por el distribuidor, y reduciendo las emisiones de CO_2 , tanto de forma directa, por la quema a cielo abierto, como indirecta, debido a la relación de las emisiones de CO_2 con el consumo eléctrico.

En el *campus* central de la USAC existe una alta demanda de energía eléctrica, siendo la Facultad de Ingeniería la unidad académica con mayor demanda, pues el edificio T3 posee el mayor consumo. El único distribuidor que brinda el servicio de energía eléctrica para el *campus* central es la Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. (EEGSA).

Por otra parte, en el *campus* central existe una vasta variedad de áreas verdes, las cuales producen residuo orgánico por su ciclo natural, más conocido como “broza”. Además, en el Centro de Experimental Docente de Agronomía (CEDA) se puede ver también la producción de residuo orgánico derivado de la producción agrícola. Estos residuos actualmente no poseen un fin específico y son desaprovechados, son simplemente utilizados como un relleno orgánico o incluso quemados a cielo abierto, siendo la última una práctica que no es amigable con el medio ambiente y tampoco es sostenible.

2. ANTECEDENTES

Los países centroamericanos poseen economías con orientación tipo agrícola, por lo tanto el uso eficiente de la biomasa es una alternativa para reducción de costos en materia energética. Esto, como parte de una solución medioambiental para la reducción del uso de combustibles fósiles. Las granjas o bosques energéticos podrían aportar de manera positiva a los requerimientos energéticos mundiales, así como ser una ayuda para las comunidades rurales con el uso inteligente de los residuos de la biomasa. En esta aplicación se puede ver el uso de madera desfibrada de eucalipto como una propuesta alternativa para producir energía a bajo costo. Esta biomasa mantiene la planta de vapor en condiciones óptimas de operación para la producción de energía eléctrica, con una combustión estable y continua. Esto brinda una fuente de alimentación para la época que no es de zafra, por lo mismo, los puestos operativos en época de no zafra se mantienen en funciones, lo cual es un beneficio para la empresa, pues reduce costos de contratación y capacitación, así como un beneficio para las personas, manteniendo sus puestos de trabajo. Se puede notar la rentabilidad, ya que el *chip* de madera de eucalipto es más económico que el *bunker*, lo que lleva a reducir costos y aumentar las ganancias. (De León, 2010)

Figura 1. **Alimentación de ingenio azucarero con chip de eucalipto**



Fuente: Pilonos de Antigua, S.A. *Proyecto de dendroenergía*
Consulta: abril 2016.

En Olmeca S.A. se presentó un estudio de factibilidad para convertir calderas pirotubulares que funcionaban con Bunker C, para que funcionaran con biomasa. La biomasa que se propone utilizar es la fibra de palma, la cual es residuo del proceso de producción de la empresa. Estas calderas se encontraban en desuso y se propuso modificar el hogar para el uso de este biocombustible. Se plantea que no es rentable ni es amigable con el medio ambiente el uso de Bunker C, pero sí se requiere una fuerte inversión para este proyecto, por ello es necesario realizar este estudio. En conclusión, se presenta una comparativa de costos de la generación con Bunker C y con biomasa, siendo totalmente rentable el uso de la biomasa. Además, la combustión de la fibra de palma no es dañina para el medio ambiente. En lo financiero se puede ver que existen siete propuestas, con períodos de retorno de entre dos y seis meses, incluyendo un posible ahorro mensual que puede ascender hasta los Q. 230 mil. Y un beneficio ambiental con la reducción de hasta 10,71 ton de CO_2 (Orozco, 2012).

Figura 2. **Modificación del hogar para la quema de biomasa**



Fuente: Beneficio el Rosario. *Estudio de factibilidad para la generación de energía eléctrica en Olmecca S.A.* Consulta: abril 2016.

Se presenta el estudio de cinco años de una planta que utiliza residuos de industrias forestales como combustible de tipo biomasa, propiedad de Térmica AFAP S.A. en Villacañas, Toledo, España, con una potencia eléctrica de 7,8 MW. El enfoque es encontrar problemas y sus causas en esta planta, de tal manera que se aportan soluciones adecuadas para los mismos, de forma que futuras plantas mejoren sus diseños y sean más eficientes. Entre estos problemas se puede ver la hibridación, que es el uso de diferentes tipos de biomasa en una misma caldera, lo cual le da una mayor flexibilidad, ya que se puede obtener mayor cantidad de biomasa para su combustión, además de los aditivos que se le pueden agregar a esta biomasa para mejorar su eficiencia y reducir el deterioro de los componentes de la caldera. (Míguez, 2013)

Tabla I. **Análisis de biomásas utilizadas durante las primeras pruebas de hibridación**

Unidades en %b.s.	SERRIN	ASTILLAS	PINO
Cenizas	1.21	1.10	9.51
Volátiles	79.17	80.04	74.82
Carbono	49.25	49.34	45.50
Hidrógeno	5.79	5.96	5.45
Nitrógeno	3.06	1.37	2.07
Azufre	No det	No det	0.68
Fluoruros	No det	No det	No det
Cloruros	0.027	0.028	0.026
Sulfatos	0.131	0.098	1.59
P.C.S kcal/kg	4758	4724	4307
P.C.I kcal/kg	4457	4415	4025

Fuente: Térmica AFAP, S.A. *La eficiencia energética en el uso de la Biomasa para la generación de energía eléctrica: Optimización energética y exergética*. Consulta: abril 2016.

Da el ejemplo la institución universitaria de Valladolid al estimular el ahorro y uso eficiente colectivo de la energía, con un *Plan de sostenibilidad energética* en su *campus* universitario (PDSE). Este plan implementó una red de calor de distrito que utiliza biomasa, brinda agua sanitaria caliente y calefacción a 31 edificios, siendo este el proyecto más importante de España. Esto es posible con una planta de generación térmica a base de biomasa, con una potencia de 14MW que consume 7886t/año de astilla de madera, ofrece un ahorro económico del 30 %, además de la reducción de emisiones de dióxido de carbono. (Cano, 2014)

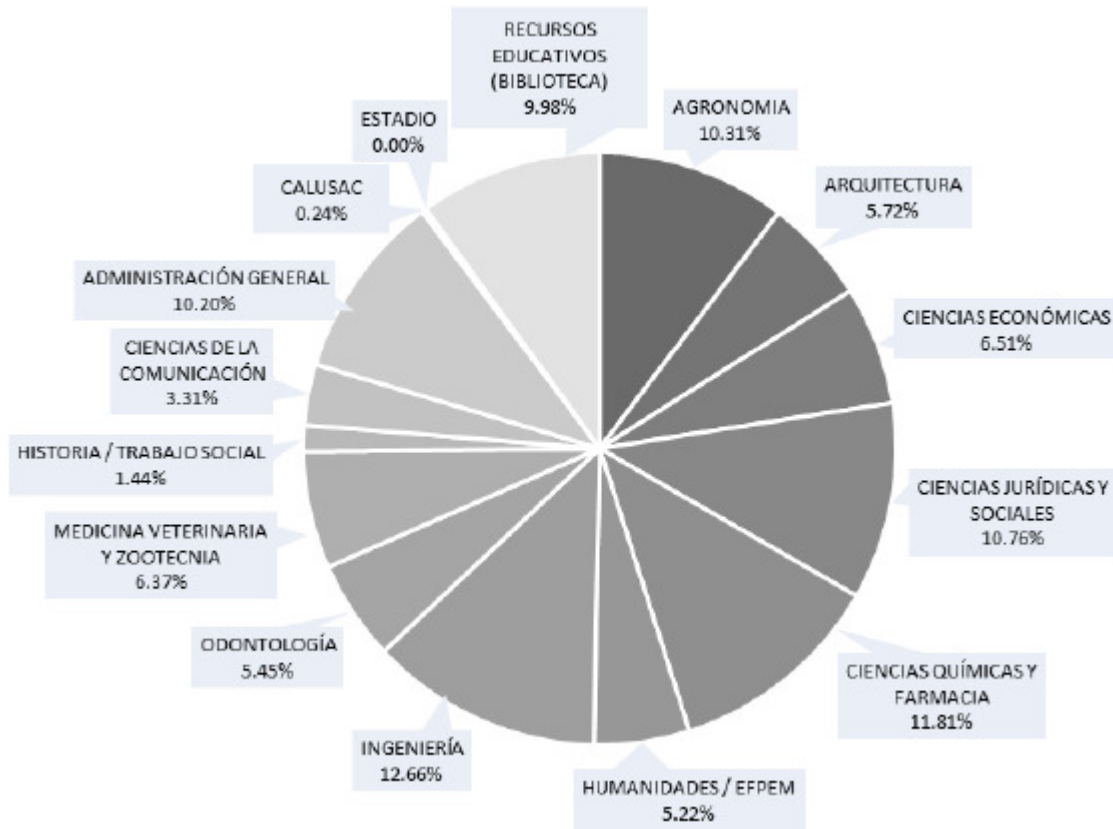
Figura 3. **Vista aérea de central térmica**



Fuente: Universidad de Valladolid. *Calefacción de distrito urbana con biomasa de la Universidad de Valladolid: Objetivo 20/20/20*. Consulta: abril 2016.

Con base en la revisión energética realizada en el *campus* central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para la realización de un Sistema de Gestión Energética de la misma, se obtuvo la matriz energética. Esta matriz presenta a la Facultad de Ingeniería como la unidad académica con mayor demanda de energía, siendo del 12,66 % del consumo energético global del *campus* universitario, seguido por la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia con el 11,81 %. También al edificio T-3 de Ingeniería presenta un 10,38 % del consumo energético global del *campus* universitario, seguido del Edificio de Recursos Educativos, conocido como Biblioteca Central, con el 9,98 %, y el edificio T-10 de Ciencias Químicas y Farmacia con el 9,43 %. Dentro de las propuestas de este estudio se favorece el uso de energías renovables para la producción de energía dentro del *campus* central, para satisfacer la demanda interna del mismo. (López, 2015)

Figura 4. **Matriz energética del *campus* central, 2015**



Fuente: USAC. *Sistema de Gestión de la Energía, mediante la metodología ISO 50001:2011, para la ciudad universitaria, zona 12, Universidad de San Carlos de Guatemala.* Consulta: abril 2016.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Descripción del problema

3.1.1. Uso de la biomasa en Guatemala

La biomasa es utilizada de distintas formas en Guatemala, como leña, cogeneración con el bagazo de caña, biodigestores en basureros, entre otros. El uso del bagazo de caña y los biodigestores para la generación de potencia eléctrica representa el 15 % en la matriz energética. Es la segunda fuente de generación por recurso renovable del país después del recurso hídrico. Este tipo de combustible no presenta sulfuros porque es parte del ciclo natural del CO_2 , además de ser abundante y relativamente económico. Siempre se debe controlar y moderar para que su uso sea sostenible y no degrade los recursos naturales. (FAO, 1996)

3.1.2. Residuos orgánicos del *campus* central

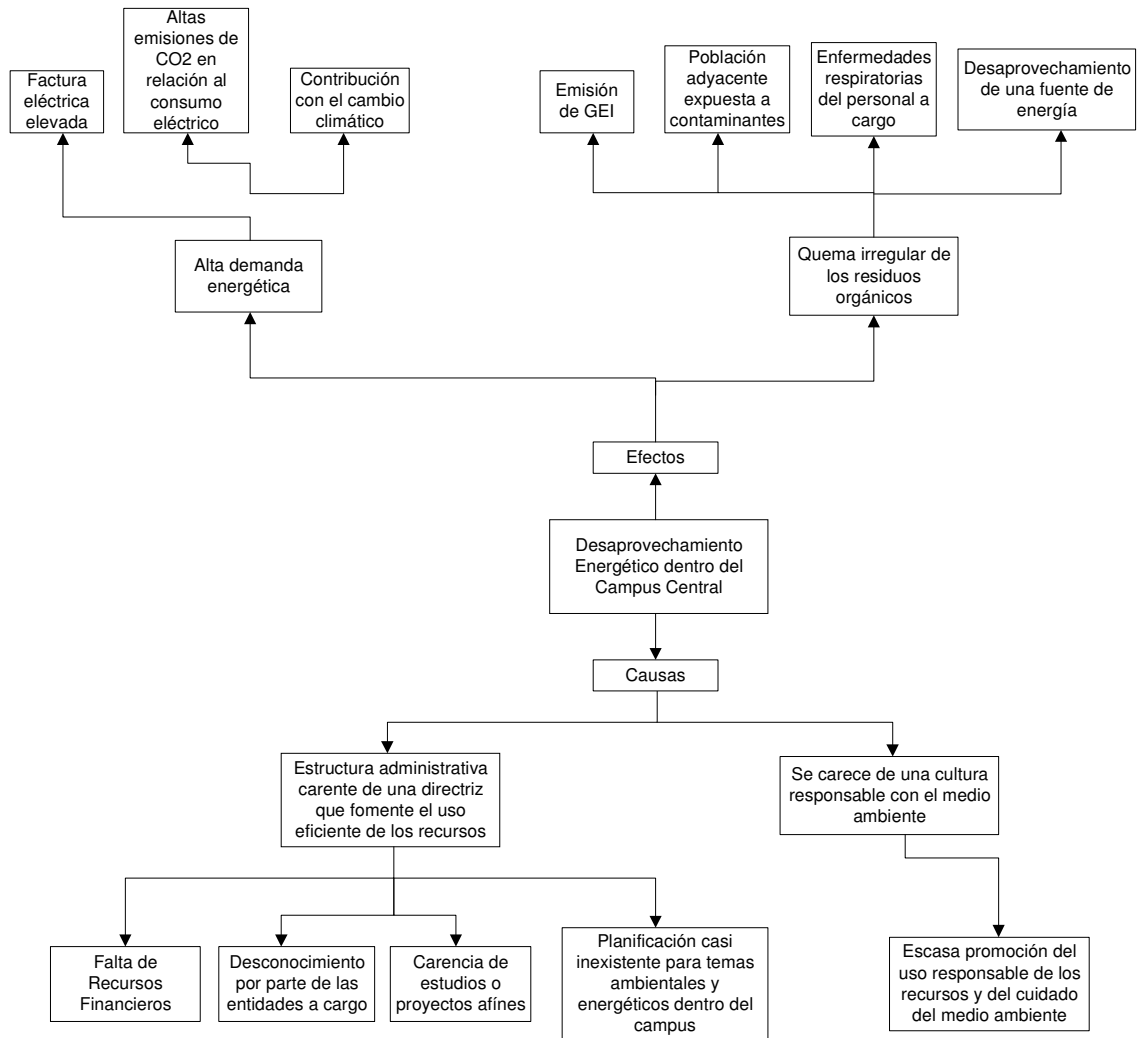
En el *campus* central de la USAC, debido a la vasta vegetación, se obtiene gran cantidad de broza, tanto por residuos forestales como agrícolas. Actualmente, al acumularse este tipo de desecho orgánico, se apila, se quema o simplemente se utiliza como relleno en algunas áreas. Lo primero, produciendo cantidades de gases de efecto invernadero, principalmente CO_2 , aunque hasta el momento se desconoce su concentración y por ende su impacto hacia el medio ambiente. Es muy difícil medir y regular las emisiones de este tipo de combustible, por su naturaleza y variedad, por las áreas abiertas

donde se realiza, e igualmente porque no se tienen datos reales del volumen de residuos orgánicos que se generan en la actualidad.

3.1.3. Situación actual de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería

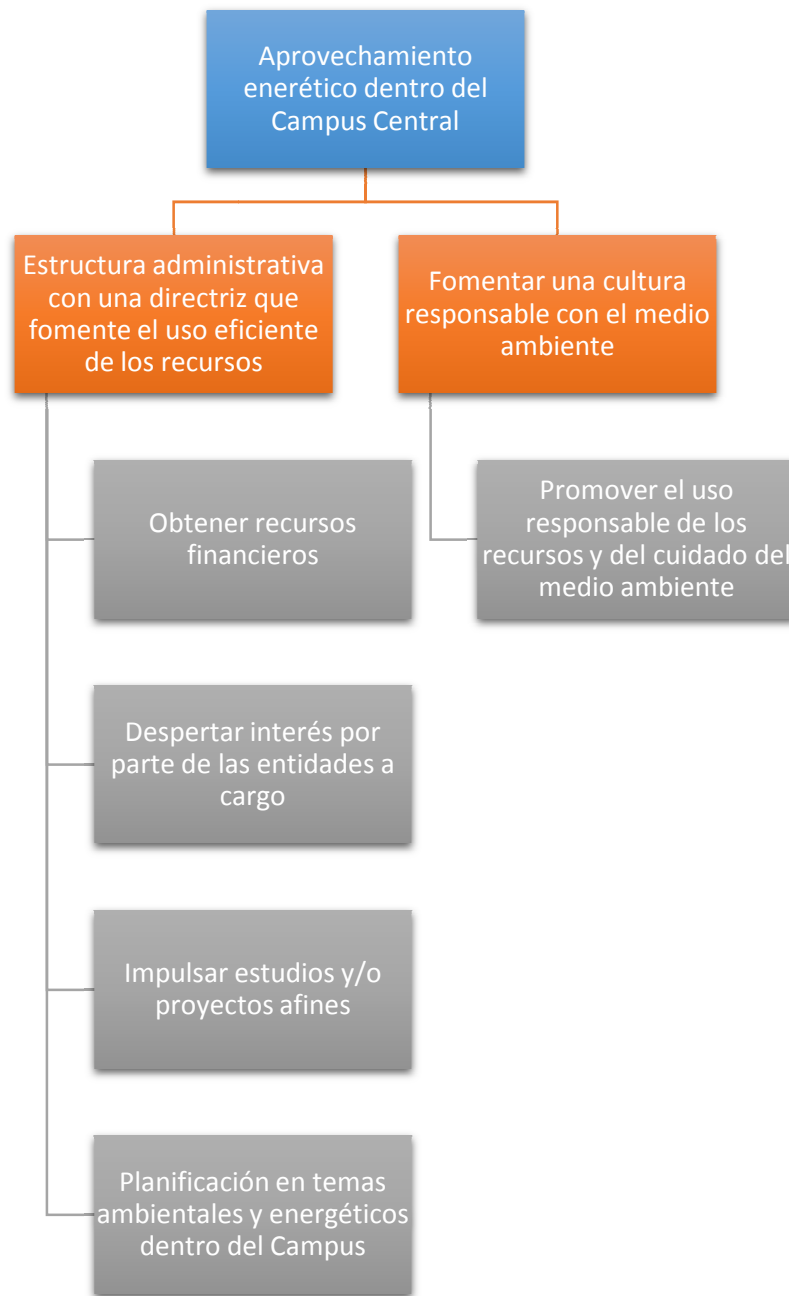
Por la falta de actualización de algunos laboratorios se tiene la problemática de que estos no cumplen con las demandas estudiantiles en la Facultad de Ingeniería. Por varios años algunos de estos no han recibido fondos para su actualización, por ejemplo la escuela de Mecánica Eléctrica, con los laboratorios de Conversión de la Energía Electromagnética y Máquinas Eléctricas, los cuales utilizan equipo LabVolt de los años 90 para realizar las prácticas y algunos ya presentan fallas. Automatización Industrial posee cuatro PLC con paneles de pruebas, de los cuales solo funcionan dos. Está el caso de Teoría Electromagnética, Circuitos 1 y 2, Electricidad y Electrónica Básica, en los cuales los alumnos deben llevar sus materiales para realizar las prácticas, ya que el equipo LabVolt que se poseía con anterioridad quedó obsoleto. Además, se presenta la carencia en la escuela de Mecánica y Mecánica Eléctrica de laboratorios para los cursos de Plantas de Vapor y de Sistemas de Generación, respectivamente.

Figura 5. **Árbol del problema, análisis de causas y efectos**



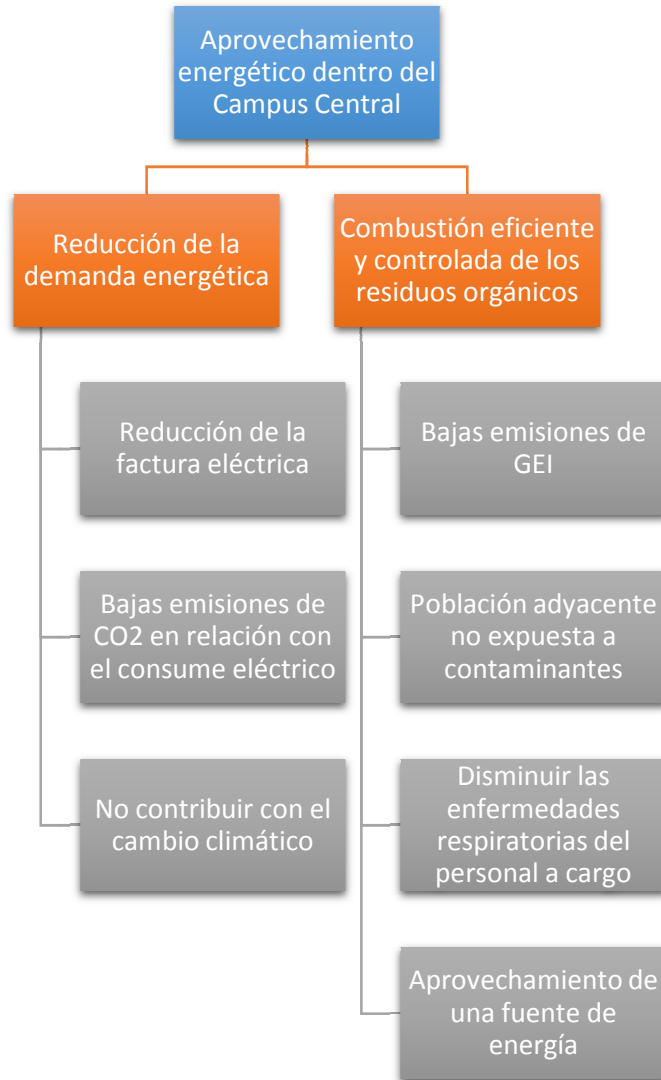
Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Árbol de medios**



Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Árbol de fines**



Fuente: elaboración propia.

3.4. Formulación del problema

Dentro del *campus* central de la Universidad de San Carlos se produce residuo orgánico, tanto por el ciclo natural de las plantas que se pueden ver en las vastas áreas verdes, como también por la producción agrícola del Centro Experimental Docente de Agronomía (CEDA). Este residuo muchas veces se quema para su eliminación rápida o se utiliza como relleno orgánico del mismo, en distintos puntos del *campus* universitario. La quema de la broza continúa siendo la manera más económica y simple de disponer de este residuo orgánico. La quema a cielo abierto, en el sector agrícola, tiene el objetivo de desbloquear nutrientes para la próxima cosecha, además de eliminar posibles plagas en las granjas de cultivo, además de despejar de forma fácil y rápida estas áreas. De forma aproximada se calcula que este tipo de práctica emite al ambiente el 40 % del dióxido de carbono (CO_2), 32 % del monóxido de carbono (CO), 20 % de partículas de materia suspendidas (PM) y 50 % de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) a nivel mundial. Esta práctica es muy común pero no es un método amigable ni sostenible para el medio ambiente. (CCA, 2014). Estas prácticas presentan problemas adicionales como:

- Exposición directa de la población universitaria y población aledaña al área donde se realizan, lo cual puede generar problemas de tipo respiratorio en los pobladores.
- Contribuye al cambio climático, debido a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI).
- La combustión no es idónea, por lo cual se puede tener presencia adicional en el ambiente de contaminantes de vida corta, como el carbono negro.
- La visibilidad se ve afectada.

Un factor adicional es que la Facultad de Ingeniería es la unidad académica con mayor demanda de energía eléctrica dentro del *campus* central, presentando al edificio T-3 como el edificio con mayor consumo energético. La única fuente de alimentación es la conexión de energía eléctrica con EEGSA.

3.2.1. Preguntas de investigación

3.2.1.1 Pregunta central

¿Qué usos se le puede dar al residuo orgánico que se encuentra en el *campus* central de la Universidad de San Carlos de Guatemala? ¿Es viable técnica y financieramente una planta termoeléctrica piloto para generar potencia eléctrica, utilizándola como una fuente de energía renovable de tipo biomasa?

3.2.1.2. Preguntas auxiliares

- ¿Qué potencial energético y cantidad de residuo orgánico se encuentra dentro del *campus* central? Y, ¿cuál sería su impacto dentro de la matriz energética del *campus* universitario y de Guatemala, al ser utilizado como un recurso renovable de tipo biomasa y generar electricidad?
- ¿Cuál sería el beneficio medioambiental y social que aportaría al *campus* central?
- ¿Qué tan viable es financieramente para la USAC un proyecto de generación de energía eléctrica utilizando residuos orgánicos?
- ¿Qué beneficios y herramientas didácticas puede aportar un proyecto de este tipo para los estudiantes de las

carreras de Ingeniería Mecánica, Eléctrica, Mecánica Eléctrica, entre otras carreras afines?

3.3. Delimitación del problema

3.3.1. Delimitación sectorial

El proyecto posee un beneficio enfocado para la Facultad de Ingeniería, para las carreras de Mecánica, Eléctrica y Mecánica Eléctrica. Esto brindará una fuente didáctica para estas carreras en los temas de generación de energía eléctrica y del Ciclo Rankine de vapor, así como en temas afines a estos. Adicional, vería un efecto positivo en la matriz energética del *campus* central, suministrando una parte de la energía eléctrica a partir de la combustión de biomasa.

3.3.2. Delimitación geográfica

Este proyecto está enfocado en tener un impacto positivo para el *campus* central de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Aquí es donde se encuentra la fuente de broza o residuo orgánico forestal y residuo orgánico agrícola del Centro Experimental Docente de Agronomía (CEDA) de la Facultad de Agronomía. Este sería el combustible principal de biomasa para la planta de vapor.

3.3.3. Delimitación tecnológica

Para este tipo de proyecto es imprescindible la presencia de un profesional para la supervisión en todos los aspectos: diseño, instalación, mantenimiento y utilización. Se propone la instalación de una caldera

pirotubular para el consumo de una tonelada aproximadamente de desecho orgánico, de al menos 50 bhp de potencia para producir 1100 lb de vapor por hora. Al considerar una generación de entre 30 y 50kWh, se emplearía una turbina de vapor conectada a un generador síncrono de 2 polos, con una excitatriz principal y una excitatriz piloto, de 50kVA, de rotor liso, a una tensión de 13,8kV, para una velocidad de 3 600rpm y 60Hz de frecuencia.

Se debe incluir un centro de transformación utilizando un transformador pad-mounted de 50kVA, para la reducción de tensión de 13,8kV a 120/240V monofásico y 120/240V trifásico. Además incluido en él todos sus dispositivos de protección y de maniobra. Por otro lado, se deben realizar diseños de estructura, cimentación y de instalaciones eléctricas para el equipo. Para la caldera se requerirán además aislantes de calor y el diseño hidráulico del sistema, así como un área de almacenamiento del material orgánico.

Principalmente se debe conocer el poder calorífico y la cantidad de desecho orgánico recolectado en el *campus* central de la Universidad de San Carlos, para de esta forma conocer la cantidad de energía que esta puede aportar. Esto se debe hacer por medio de un proceso químico de laboratorio. Además se debe hacer un estudio de tierras para las cimentaciones de los equipos en el área respectiva.

4. JUSTIFICACIÓN

En el *campus* central, debido a la gran variedad de plantas que se pueden encontrar dentro de él, se obtiene gran cantidad de residuo orgánico. Actualmente se desconoce el volumen exacto de este, pero existe un potencial con capacidad de ser transformado para su uso como energía de biomasa o bioenergía.

Como beneficiarios dentro de la Facultad de Ingeniería se presentan tanto las carreras de Eléctrica, Mecánica y la carrera combinada de Mecánica Eléctrica, pues parte de su enfoque didáctico está orientado a la generación de potencia, ya sea mecánica o eléctrica. La implementación de una planta de vapor brindaría el aprovechamiento de este residuo orgánico, el cual actualmente no posee un uso definido más allá de la quema a cielo abierto o como relleno orgánico. Esto, además, aportaría una herramienta didáctica para las carreras afines de la Facultad de Ingeniería, debido a que el enfoque de dicha unidad académica busca el desarrollo e innovación tecnológica para Guatemala.

Desde el punto de vista medioambiental podría verse en el *campus* central de la Universidad de San Carlos una reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero y sus efectos en el cambio climático, así como también la reducción de exposición a elementos contaminantes de la población universitaria y población adyacente al *campus* universitario, para evitar complicaciones en el sistema respiratorio.

En el panorama energético, se ve un aporte a la matriz energética del *campus* central, como una redistribución, debido al aporte de una fuente de energía renovable, pues actualmente solo se posee una conexión con la Empresa Eléctrica. Esto daría un reflejo en la reducción de emisiones de CO_2 en relación a este consumo eléctrico. De la misma manera, la Facultad de Ingeniería es la unidad académica con mayor demanda energética, con el 12,66 % del consumo global del *campus* universitario, por ello este aporte representaría una mejora en la reducción de esta demanda de la fuente principal de abastecimiento eléctrico. (Ver figura IV)

Este proyecto va orientado en la línea de investigación que se ha enfatizado para la cohorte actual de la Maestría de Energía y Ambiente, la cual es “Gestión y Uso Eficiente de la Energía”. Esta línea se acopla idealmente con la búsqueda de la reducción de la demanda y un uso más eficiente de la energía del *campus* central, enfocándose principalmente en la Facultad de Ingeniería. Esta unidad académica presenta la mayor demanda energética y el edificio con mayor consumo energético es el T-3.

5. OBJETIVOS

General

Determinar la viabilidad técnica y financiera de una planta termoeléctrica piloto, para generar potencia eléctrica utilizando biomasa procedente del residuo orgánico localizado dentro del *campus* central de la Universidad de San Carlos de Guatemala como fuente de energía renovable.

Específicos

- Calcular el potencial energético y cantidad de residuo orgánico localizado dentro del *campus* central, para generar electricidad como un recurso renovable de tipo biomasa y calcular su impacto dentro de la matriz energética del *campus* universitario y de Guatemala.
- Conocer los beneficios medioambientales y sociales que aportaría al *campus* central.
- Determinar la viabilidad financiera para la USAC de un proyecto de generación de energía eléctrica a partir de residuos orgánicos.
- Detallar los beneficios y herramientas didácticas que puede aportar un proyecto de este tipo para los estudiantes de las carreras de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Mecánica Eléctrica, entre otras carreras afines.

6. MATRIZ DE COHERENCIA

Tabla II. **Matriz de coherencia**

	Pregunta	Objetivo
Central	¿Qué usos se le puede dar al residuo orgánico que se encuentra en el <i>campus</i> central de la Universidad de San Carlos de Guatemala? ¿Es viable técnica y financieramente una planta termoeléctrica piloto para generar potencia eléctrica, utilizándola como una fuente de energía renovable de tipo biomasa?	Determinar la viabilidad técnica y financiera de una planta termoeléctrica piloto, para generar potencia eléctrica utilizando biomasa procedente del residuo orgánico localizado dentro del <i>campus</i> central de la Universidad de San Carlos de Guatemala como fuente de energía renovable.
1	¿Qué potencial energético y cantidad de residuo orgánico se encuentra dentro del <i>campus</i> central? Y, ¿cuál sería su impacto dentro de la matriz energética del <i>campus</i> universitario y de Guatemala al ser utilizado como un recurso renovable de tipo biomasa y generar electricidad?	Calcular el potencial energético y cantidad de residuo orgánico localizado dentro del <i>campus</i> central, para generar electricidad como un recurso renovable de tipo biomasa y calcular su impacto dentro de la matriz energética del <i>campus</i> universitario y de Guatemala.

Continuación Tabla II

<p>2</p>	<p>¿Cuál sería el beneficio medioambiental y social que aportaría al <i>campus</i> central?</p>	<p>Conocer los beneficios medioambientales y sociales que aportaría al <i>campus</i> central.</p>
<p>3</p>	<p>¿Qué tan viable es financieramente para la USAC un proyecto de generación de energía eléctrica utilizando residuos orgánicos?</p>	<p>Determinar la viabilidad financiera para la USAC de un proyecto de generación de energía eléctrica a partir de residuos orgánicos.</p>
<p>4</p>	<p>¿Qué beneficios y herramientas didácticas puede aportar un proyecto de este tipo para los estudiantes de las carreras de Ingeniería Mecánica, Eléctrica, Mecánica Eléctrica, entre otras carreras afines?</p>	<p>Detallar los beneficios y herramientas didácticas que puede aportar un proyecto de este tipo para los estudiantes de las carreras de Ingeniería Mecánica, Eléctrica, Mecánica Eléctrica, entre otras carreras afines.</p>

Fuente: elaboración propia.

7. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

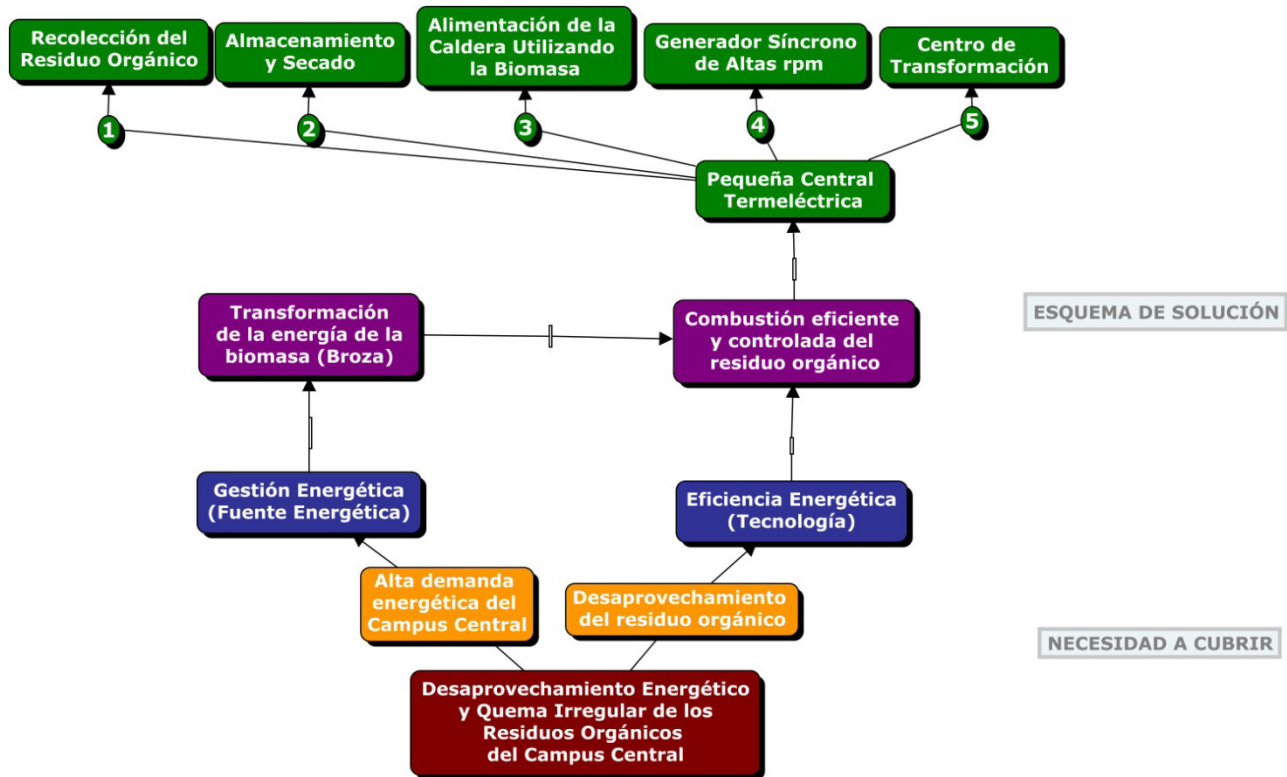
La broza es una fuente de energía de tipo biomasa desaprovechada en el *campus* central de la USAC. Actualmente solo es quemada a cielo abierto o utilizada como relleno orgánico. Paralelo a ello se presenta una alta demanda energética dentro del *campus* central en sus distintas unidades académicas. Como parte de la gestión energética se puede ver la utilidad de la broza como una fuente de energía de tipo biomasa. Como parte de la eficiencia energética, la energía de este residuo orgánico puede ser transformada a través de la combustión eficiente y controlada para generar potencia eléctrica. A través de una pequeña central termoeléctrica se puede dar un uso a esta biomasa y reducir la demanda de energía eléctrica del *campus* central a la empresa distribuidora. Las etapas para llevar a cabo este proceso son las siguientes:

- Recolección del residuo orgánico: reunir la broza dispersa dentro del *campus* central, así como pensar en una granja energética dentro del *campus* y cosechar la biomasa.
- Astillado, secado y almacenamiento: proyectar un área para el almacenamiento de la materia orgánica reunida; para reducir su tamaño, reducir su grado de humedad y agregar aditivos.
- Alimentación de la caldera utilizando la biomasa: por medio de una combustión eficiente y controlada, generar vapor en una caldera pirotubular, a manera de obtener potencia mecánica para hacer girar una turbina acoplada a un generador eléctrico.
- Generador síncrono de altas rpm: la generación de electricidad se lograría por medio de un generador síncrono de dos polos y rotor liso para una

velocidad de 3 600 rpm y 60 Hz de frecuencia nominal a una tensión de 13,8 kV.

- Centro de transformación: se necesitará de un pequeño centro de transformación, para la reducción de voltaje de 13,8 kV, generados a 120/240V monofásico y 120/240V trifásico, para su distribución y empleo, incluidos sus dispositivos de protección y maniobra.

Figura 8. Diagrama de necesidades a cubrir y esquema de solución



Fuente: elaboración propia.

8. MARCO TEÓRICO

8.1. Plantas térmicas

El principio de funcionamiento de una central térmica se basa en el intercambio de energía calórica en energía mecánica y luego en energía eléctrica. Es aprovechar la energía química de los combustibles derivados del petróleo como el *bunker*, diésel, gas natural, y otros como carbón mineral, residuos vegetales, etc., para producir electricidad. Los 3 elementos esenciales de una central térmica son:

- La caldera, elemento que produce vapor a partir de la energía química obtenida al efectuarse la combustión o quemado de combustible.
- La turbina, elemento que produce la energía mecánica.
- El alternador (generador), elemento que produce la energía eléctrica

Figura 9. **Central térmica convencional**



Fuente: ESO. *Tecnología e informática*,
Unidad 2. Consulta: mayo 2016.

El funcionamiento de todas las centrales térmicas o termoeléctricas es semejante. El combustible se almacena en depósitos adyacentes, desde donde se suministra a la central, pasando por la caldera. Una vez en la caldera, los quemadores provocan la combustión del carbón, *fueloil*, gas, *bunker*, entre otros, generando energía calorífica. Esta se convierte, a su vez, en vapor a alta temperatura. El agua circula por una extensa red formada por miles de tubos que tapizan las paredes de la caldera. Este vapor entra a gran presión en la turbina central, la cual produce la energía mecánica que es utilizada por el generador para producir la electricidad.

8.2. Eficiencia energética

El uso eficiente de la energía es reducir la cantidad de energía eléctrica y de combustibles que se utilizan, pero conservando la calidad y el acceso a bienes y servicios. Usualmente, dicha reducción en el consumo de energía se asocia a un cambio tecnológico, ya sea por la creación de nuevas tecnologías que incrementen el rendimiento de los artefactos, o por nuevos diseños de máquinas y espacios habitables, los que pueden disminuir la pérdida de energía por calor. No obstante, no siempre es así, ya que la reducción en el consumo de energía puede estar vinculada a una mejor gestión o cambios en los hábitos y actitudes.

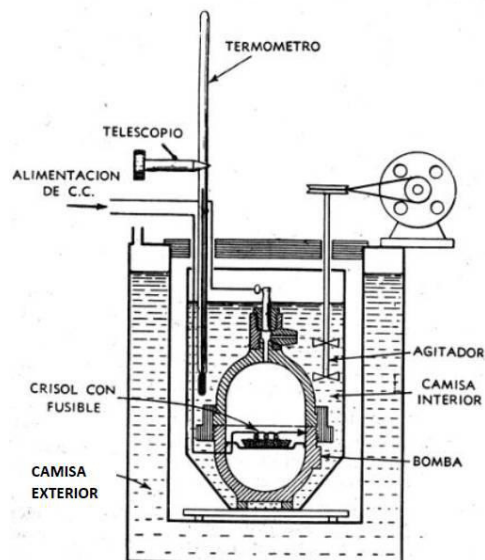
Ahorrar energía, en cambio, puede significar reducir o dejar de realizar determinadas actividades, para evitar el consumo de energía. Por ejemplo, el ahorro energético se genera cuando se apaga la luz para reducir el consumo de energía. Si, en cambio, se reemplaza la ampolla incandescente por una eficiente, se está tomando una medida de eficiencia energética, que proporcionará una disminución en el consumo de energía, sin perjuicio del desarrollo de las actividades. Tampoco se debe confundir la EE con la Energía Renovable (ER). Esta última corresponde a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, tales como el sol o el viento. En resumen, la ER es un tipo de fuente de energía, mientras que la EE es un análisis de todo el sistema que podrá presentar, como medidas de reducción de consumo de energía, el uso de ER. Es fundamental fomentar la eficiencia energética, debido a que es la forma más económica, segura y limpia de utilizar la energía

8.3. Poder calorífico

Se define como poder calorífico de un combustible a la cantidad de calor que se obtiene de la oxidación completa, a presión atmosférica, de los componentes de la unidad de masa (o volumen) de dicho combustible. Habitualmente se expresa en las siguientes unidades:

- Combustibles sólidos: kWh/kg
- Combustibles líquidos: kWh/kg o kWh/l
- Combustibles gaseosos: kWh/kg o kWh/Nm³

Figura 10. **Bomba calorimétrica no adiabática de Emerson**



Fuente: SEYMOUR. *El laboratorio del ingeniero mecánico.*

Consulta: mayo 2016.

En la combustión, por la oxidación del hidrógeno, se forma agua; además, los combustibles pueden tener un cierto grado de humedad en su

composición; dependiendo del estado en que aparezca el agua en los humos, se distinguen dos tipos de poderes caloríficos:

8.3.1. Poder Calorífico Inferior (PCI)

Es el calor que puede obtenerse en la combustión completa de la unidad de combustible, si en los productos de la combustión el agua está en forma de vapor. Una parte del calor generado en las oxidaciones se utiliza para evaporar el agua y por ello ese calor no se aprovecha.

8.3.2. Poder Calorífico Superior (PCS)

Es el calor generado cuando en los productos de la combustión el agua aparece en forma líquida; es decir, que se aprovecha todo el calor de oxidación de los componentes del combustible. Con las temperaturas de humos habituales el agua se evacua con los mismos en fase vapor, por lo que el poder calorífico más comúnmente utilizado es el inferior.

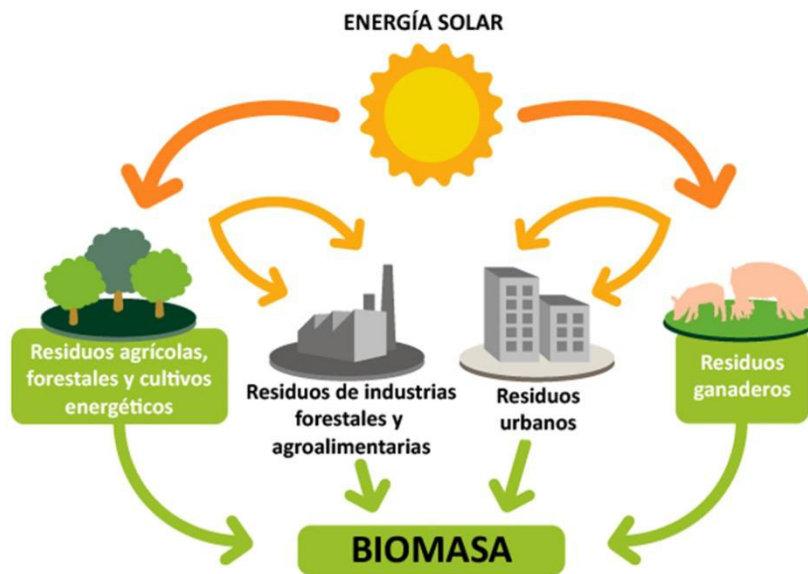
8.4. Biomasa

La palabra biomasa describe los materiales provenientes de seres vivos animales o vegetales. Es decir, toda la materia orgánica (materia viva) procedente del reino animal y vegetal, obtenida de manera natural o procedente de las transformaciones artificiales. Toda esta materia se convierte en energía si le aplicamos procesamientos químicos.

La energía de la biomasa proviene en última instancia del sol. Los vegetales absorben y almacenan una parte de la energía solar que llega a la tierra y a los animales en forma de alimento y energía. Cuando la materia

orgánica almacena la energía solar, también crea subproductos que no sirven para los animales ni para fabricar alimentos, pero sí para hacer energía de ellos. La biomasa era la fuente energética más importante para la humanidad hasta el inicio de la revolución industrial, pero su uso fue disminuyendo al ser sustituido por el uso masivo de combustibles fósiles.

Figura 11. **Fuentes de biomasa**



Fuente: LATIN. *Introducción al estudio de fuentes renovables de energía*. Consulta: mayo 2016.

8.4.1. Tipos de biomasa

La biomasa se puede clasificar en tres grandes grupos:

- Biomasa natural: es la que se produce en la naturaleza sin la intervención humana.
- Biomasa residual: son los residuos orgánicos que provienen de las actividades de las personas (residuos sólidos urbanos, RSU, por ejemplo).

- Biomasa producida: son los cultivos energéticos, es decir, campos de cultivo donde se produce un tipo de especie con la única finalidad de su aprovechamiento energético.

8.4.2. Conversión de la biomasa en energía

Existen diferentes formas para transformar la biomasa en energía que se pueda aprovechar, pero hay dos de ellas que hoy en día se utilizan más:

8.4.2.1. Métodos termoquímicos

Es la manera de utilizar el calor para transformar la biomasa. Los materiales que funcionan mejor son los de menor humedad (madera, paja, cáscaras, etc.). Se utilizan para:

- Combustión: existe cuando se quema la biomasa con mucho aire (20-40 % superior al teórico) a una temperatura entre 600 y 1 300°C. Es el modo más básico para recuperar la energía de la biomasa, de donde salen gases calientes para producir calor y poderla utilizar en casa, en la industria y para producir electricidad.
- Pirolisis: se trata de descomponer la biomasa utilizando el calor (a unos 500°C) sin oxígeno. A través de este proceso se obtienen gases formados por hidrógeno, óxidos de carbono e hidrocarburos, líquidos hidrocarbonatos y residuos sólidos carbonosos. Este proceso se utilizaba hace años para hacer carbón vegetal.
- Gasificación: existen cuando se hace combustión y se producen diferentes elementos químicos: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrógeno (H) y metano (CH₄), en cantidades diferentes. La temperatura de la gasificación puede estar entre 700 y 1 500°C y el oxígeno entre un 10 y

un 50 %. Según se utilice aire u oxígeno, se crean dos procedimientos de gasificación distintos. Por un lado, el gasógeno o “gas pobre”, y por otro el gas de síntesis. La importancia de este es que puede transformarse en combustibles líquidos (metanol y gasolinas). Por eso se están haciendo grandes esfuerzos que tienden a mejorar el proceso de gasificación con oxígeno.

- Co-combustión: consiste en la utilización de la biomasa como combustible de ayuda mientras se realiza la combustión de carbón en las calderas. Con este proceso se reduce el consumo de carbón y se reducen las emisiones de CO_2 .

8.4.3. Balance CO_2 neutro

En la combustión de la biomasa se considera que las emisiones tienen el balance neutro de CO_2 . Realmente sí se produce CO_2 como resultado de la combustión de la biomasa, pero esto se considera así porque se plantea que la combustión de biomasa no contribuye al aumento del efecto invernadero, porque el CO_2 que se libera forma parte de la atmósfera actual. Es el CO_2 que absorben y liberan continuamente las plantas y árboles para su crecimiento, y no es el CO_2 capturado en el subsuelo a lo largo de miles de años y liberado en un breve espacio de tiempo como ocurre con los combustibles fósiles.

Figura 12. **Ciclo de la biomasa**



Fuente: ASEMFO. *¿Qué entendemos por biomasa?*

Consulta: mayo 2016.

8.4.4. Ventajas del uso sostenible de la biomasa

El uso sostenible de la biomasa como fuente energética presenta ventajas medioambientales de primer orden:

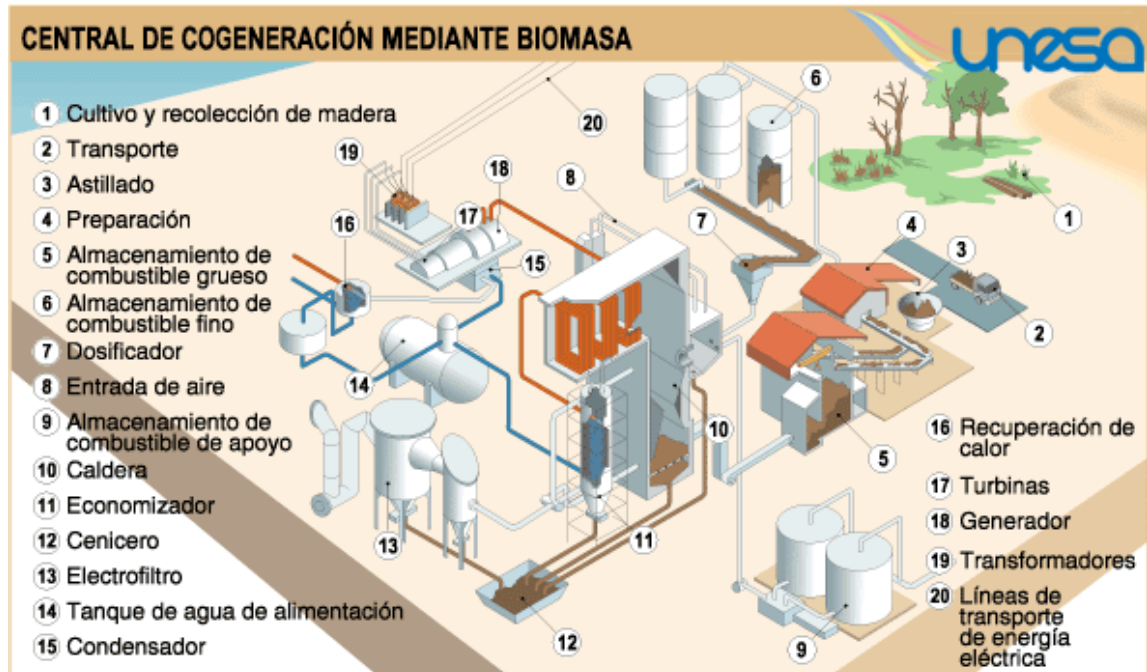
- Disminución de las emisiones de azufre
- Disminución de las emisiones de partículas
- Emisiones reducidas de contaminantes como CO, HC y NOX
- Menos emisiones de CO_2 , desacelerando el efecto invernadero
- Reducción de los peligros derivados del escape de gases tóxicos y combustibles.
- Reducción de riesgos de incendios forestales (si se plantea respetando los equilibrios naturales).

- Aprovechamiento de residuos agrícolas (olivos, árboles frutales, etc.) o forestales.
- Posibilidad de utilización de tierras abandonadas o desertizadas con cultivos energéticos.
- Mayor independencia de las fluctuaciones de los precios de los combustibles provenientes del exterior (no son combustibles importados).
- Mejora socioeconómica de las áreas rurales.

8.5. Plantas termoeléctricas de biomasa

Una central de biomasa es una instalación que permite el aprovechamiento de la biomasa para la producción de electricidad. Tiene un ciclo térmico similar al de las centrales térmicas convencionales: la energía calorífica que se produce en un determinado foco es transformada en energía mecánica rotatoria mediante una turbina y, posteriormente, en energía eléctrica a través de un generador. La diferencia está en que el combustible principal utilizado para producir la energía calorífica en el caso de las centrales de biomasa lo constituyen principalmente los residuos forestales, los cultivos de plantas energéticas o los residuos agrícolas. Hay diversas tecnologías en el funcionamiento de estas plantas. A continuación se describe el esquema de funcionamiento de una central-tipo de biomasa:

Figura 13. Central de cogeneración mediante biomasa



Fuente: UNESA. Asociación española de la industria eléctrica.

Consulta: mayo 2016.

En primer lugar, el combustible principal de la instalación, residuos forestales, agrícolas o cultivos de plantas energéticas (1), es transportado y almacenado en la central. En esta puede ser sometido a un tratamiento de astillado (2) para reducir su tamaño, si ello fuera necesario. A continuación, pasa a un edificio de preparación del combustible (3), en donde generalmente se clasifica en función de su tamaño, fino y grueso, para después ser llevado a los correspondientes almacenes (4, 5 y 6).

El combustible, una vez preparado, se lleva a la caldera (7) para su combustión, y el calor producido hace que el agua que circula por las tuberías de la caldera se convierta en vapor de agua. Generalmente la caldera tiene una parrilla donde se quema el combustible grueso. El combustible fino se mezcla

con el combustible de apoyo (generalmente un derivado del petróleo) procedente de su almacén (6), para ser quemado de la forma más eficiente posible.

El agua que circula por el interior de la caldera proviene del tanque de alimentación (10). Antes de entrar allí, el agua ha pasado generalmente por un economizador, donde es precalentada mediante el intercambio de calor con los gases de combustión que salen de la propia caldera. Estos gases de combustión son sometidos a un proceso de recirculación por la caldera para reducir la cantidad de inquemados, y así aprovechar al máximo el poder energético y reducir las emisiones atmosféricas. Asimismo, los gases de combustión son limpiados por los equipos de depuración (9), antes de ser vertidos a la atmósfera a través de una chimenea. Las partículas retenidas, junto con las cenizas de la combustión, son conducidas al cenicero (8) para ser transportadas posteriormente a un vertedero.

Al igual que se hace en otras centrales térmicas convencionales, el vapor generado en la caldera se expande en la turbina de vapor (12) que mueve el generador eléctrico (13), donde se produce la energía eléctrica que, una vez elevada su tensión en los transformadores (14), se vierte a la red general mediante las líneas de transporte (15) correspondientes. Después, el vapor de agua proveniente de la turbina es transformado en líquido en el condensador (11), y de ahí es enviado nuevamente al tanque de alimentación (10), cerrándose así el circuito principal del agua en la central.

Desde el punto de vista de cambio climático, se considera que los gases de invernadero emitidos en la producción de electricidad a partir de la biomasa no tienen impacto negativo, ya que el CO₂ producido en la combustión es aproximadamente el mismo que la cantidad fijada por la masa vegetal durante

su crecimiento. En cualquier caso, en la hipótesis de no utilizarse la biomasa en una central, el CO₂ volvería a la atmósfera a través del proceso natural de descomposición de la materia orgánica.

8.6. Generador Distribuido Renovable (GDR)

En Guatemala, la generación distribuida se acota a generadores que producen energía utilizando tecnologías de generación con recursos renovables, las cuales se conectan a instalaciones de distribución cuyo aporte de potencia neto es inferior o igual a 5 MW. Se considerarán tecnologías con recursos renovables a aquellas que utilizan la energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica, biomasa y otras que el Ministerio de Energía y Minas determine.

8.6.1. Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía (NTGDR)

La creación de la Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable busca mejorar, en teoría, las condiciones para que un inversionista introduzca una central pequeña de generación con recursos renovables en el sistema eléctrico nacional, con el fin de la disminución de los precios de la energía. La ley para el Generador Distribuido Renovable (GDR) fue aprobada por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), que es el ente regulador del sector eléctrico guatemalteco. La Ley General de Electricidad en el artículo 14 dice: “es el modo de generación eléctrica producida por tecnologías de generación utilizando recursos renovables y que están o estarán conectadas a las instalaciones de distribución eléctrica (13,8 y 34,5 kV), de las cuales su capacidad eléctrica instalada es menor de 5 megavatios. Las tecnologías que

aplican como fuente de recursos renovables son solar, eólica, hidroeléctricas y geotermias”.

Características principales de la ley:

- Considera las fuentes de energía renovable: biomasa, eólica, geotermia, hidroeléctricas y solar.
- Facilita y aclara el proceso de aprobación del proceso de interconexión y operación de la planta y la comercialización de su energía producida.
- El tamaño de la GDR debe ser menor a 5 MVA.
- Las compañías de distribución están obligadas a permitir la conexión de las GDR al sistema eléctrico, después de recibir la aprobación con un estudio de capacidad de la red.
- Los GRD están obligadas a solicitar acceso a la red a las compañías de distribución, y de ser necesario aumentar la capacidad de la red a la que se van a conectar.
- Las GDR pueden participar en licitaciones públicas para suplir la demanda de las compañías de distribución o vender su energía en el Mercado Spot guatemalteco.
- Los generadores distribuidos están exentos de pagos de peaje secundario de transmisión.
- Existe una tabla detallada con el equipo necesario para conectar al sistema eléctrico.

Con base en lo anteriormente mencionado se puede determinar que los GDR tendrán la posibilidad de vender la energía producida al sistema eléctrico nacional de manera más rápida, ya sea en un Mercado Spot o en contratos de energía. Para entender y definir un poco más esta ley, el proyecto de generación con recursos renovables se puede resumir en que para una

producción igual o menor de 5 MVA, su conexión a la red no tendrá mayor trámite ante los entes reguladores, esto por supuesto tiene sus restricciones, debido a que en Guatemala el sistema eléctrico nacional se encuentra en proceso de ampliación y mejora en cuanto a capacidad de transporte de la red.

Figura 14. **Marco legal del subsector eléctrico en Guatemala**



Fuente: elaboración propia.

9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

LISTA DE ABREVIATURAS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. CAPÍTULO I: CONTEXTO DEL *CAMPUS* CENTRAL

- 1.1. Quema a cielo abierto de biomasa y sus efectos en el *campus* central
- 1.2. Demanda energética en el *campus* central
 - 1.2.1. Matriz energética
 - 1.2.2. Edificios con mayor consumo energético
 - 1.2.3. Intensidad energética per cápita
 - 1.2.4. Emisiones asociadas al consumo de energía
- 1.3. Lineamientos de la política energética universitaria

2. CAPÍTULO II: BIOMASA EN EL *CAMPUS* CENTRAL

- 2.1. Cantidad y calidad energética de la materia orgánica del *campus* central

- 2.1.1. Materia disponible
- 2.1.2. Poder calorífico de la broza y otros materiales orgánicos
- 2.2. Análisis y propuesta técnica de una planta termoeléctrica de biomasa
 - 2.2.1. Cálculos y selección de componentes
 - 2.2.2. Dimensionamiento y ubicación propuesta
 - 2.2.3. Astillado, secado y almacenamiento de la biomasa
- 2.3. Propuesta de un bosque energético dentro del *campus* central

3. CAPÍTULO III: ANÁLISIS TÉCNICO-FINANCIERO

- 3.1. Marco legal
- 3.2. Aporte energético
- 3.3. Emisiones al ambiente antes y después
- 3.4. Propuesta administrativa
- 3.5. Equipo requerido
- 3.6. Estudio financiero

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

ANEXOS

10. METODOLOGÍA

10.1. Datos y variables

El enfoque del presente diseño de investigación es plantear la propuesta de una fuente de energía renovable con base en el aprovechamiento del residuo orgánico del *campus* central de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Para ello es necesaria la recopilación de datos del *campus* universitario, así como el análisis de las variables a considerar para la elaboración correcta de la propuesta.

10.1.1. Datos

Es necesario tener acceso a la información que pueda brindar la USAC referente a su *campus* central, principalmente las especies de la flora existente dentro del mismo, así como las áreas potenciales que hay para la siembra de un bosque energético y para colocar la planta termoeléctrica y sus componentes. Cabe mencionar los siguientes datos a recopilar:

- Límites y colindancias
- Flora
- Edafología
- Espacios abiertos
- Espacios de interés natural
- Infraestructura eléctrica
- Estructura administrativa de las unidades académicas

- Matriz energética

10.1.2. Variables

Para la propuesta y el diseño de la planta termoeléctrica es necesario conocer y analizar las variables que intervienen en el proceso de transformación de la energía de la biomasa. Cabe mencionar como principales los siguientes:

- Cantidad de biomasa producida
- Área disponible para la plantación de un bosque energético
- Poder calorífico de la biomasa producida
- Capacidades de la caldera
- Especificaciones de la turbina
- Especificaciones del generador eléctrico
- Capacidades del centro de transformación
- Sistemas de protección
- Componentes de maniobra

10.2. Tipo de estudio

El presente diseño de investigación se compone de dos etapas. La primera tiene como enfoque principal una investigación documental y descriptiva. Se busca la recopilación de datos para conocer la variedad, la cantidad y el poder calorífico del residuo orgánico, las áreas potenciales para un bosque energético y la demanda energética del *campus* central. En la segunda etapa se realizarán los cálculos para proponer un proyecto de energía renovable y sustentable. Luego de conocer el poder calorífico de la biomasa y el área potencial para un bosque energético, se puede realizar el dimensionamiento y diseño de la planta termoeléctrica piloto, así como realizar el análisis financiero del mismo.

11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

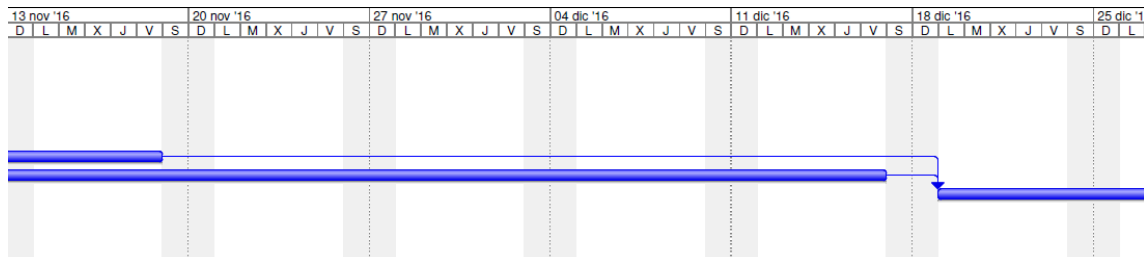
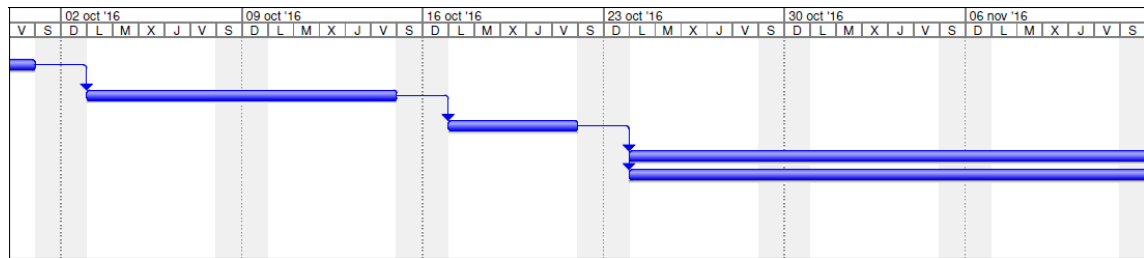
Para la selección y dimensionamiento del equipo se utilizarán herramientas para la resolución de ecuaciones lineales y cuadráticas. Esto será para el análisis del proceso de transformación de la energía de la biomasa en calor, de calor a energía mecánica y de energía mecánica a energía eléctrica. También es necesario para el diseño de la instalación mecánica y eléctrica de la planta. Con la obtención de estos resultados se puede proceder al modelado de la planta piloto.

Con base en el área disponible y su viabilidad para la plantación de un bosque energético se realizarán los cálculos para conocer el potencial energético que este puede aportar para una producción continua de energía eléctrica. Con un análisis estadístico pueden plantearse las tendencias con relación al consumo energético del *campus* central y el aporte que esta propuesta brinda a la matriz energética de la universidad, visualizando la viabilidad financiera del proyecto con base en la reducción de la factura eléctrica del *campus* universitario, el costo/beneficio, el VAN y la TIR.

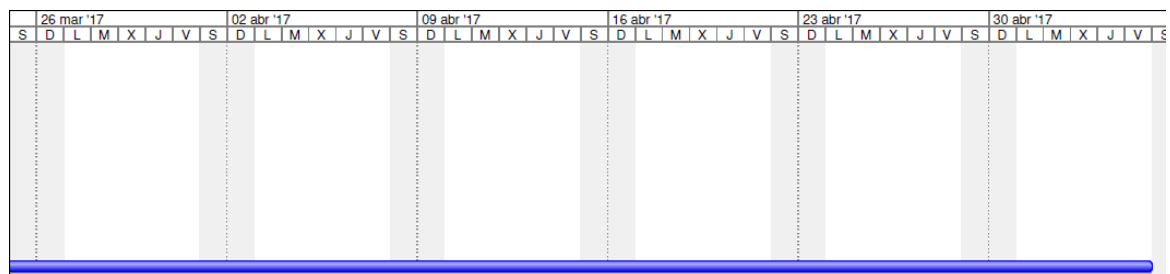
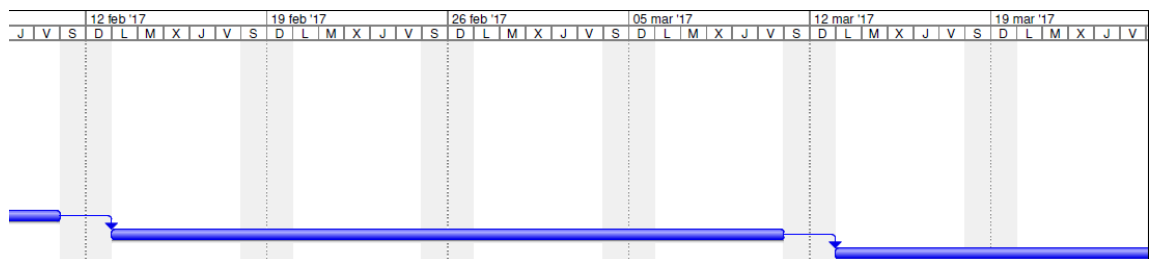
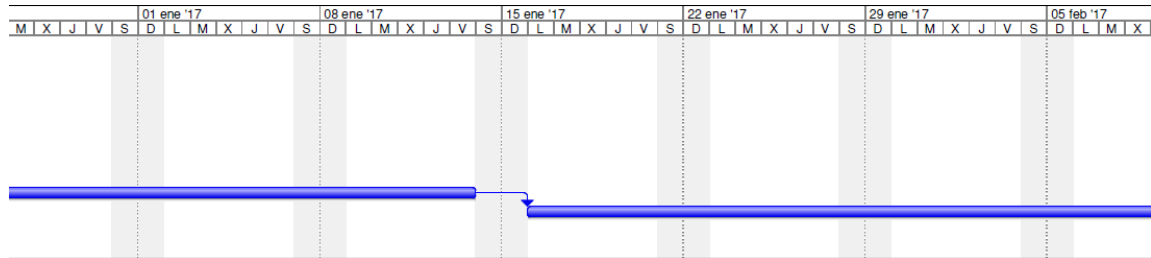
12. CRONOGRAMA

Figura 15. Cronograma

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Pre: 11 sep '16							18 sep '16							25 sep '16									
					D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S			
1	Entrega de protocolo	1 sem	lun 12/09/16	vie 16/09/16																								
2	Realización de perfil de protocolo para EIME	2 sem.	lun 19/09/16	vie 30/09/16	1																							
3	Presentación de Perfil de protocolo de EIME	2 sem.	lun 03/10/16	vie 14/10/16	2																							
4	Carta de petición de acceso a la información de la USAC	5 días	lun 17/10/16	vie 21/10/16	3																							
5	Etapas de investigación	1 ms	lun 24/10/16	vie 18/11/16	4																							
6	Recabación de datos	2 mss	lun 24/10/16	vie 16/12/16	4																							
7	Etapas de Cálculos	1 ms	lun 19/12/16	vie 13/01/17	6,5																							
8	Cotización de Equipo	1 ms	lun 16/01/17	vie 10/02/17	7																							
9	Análisis Financiero	1 ms	lun 13/02/17	vie 10/03/17	8																							
10	Elaboración de Informe Final	2 mss	lun 13/03/17	vie 05/05/17	9																							



Continuación Figura 15



Fuente: elaboración propia.

13. RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Tabla III. Recursos necesarios

Ítem	Costo (por mes)	Tiempo (meses)	Total (Quetzales)
Recurso Humano			
Asesor	Q. 200,00	6	Q. 1 200,00
Estudiante	-	6	0
Materiales, Equipo e Insumos			
Energía Eléctrica	Q. 50,00	6	Q. 300,00
Teléfono Celular e Internet	Q. 100,00	6	Q. 600,00
Computadora	-	6	0
Impresora	-	6	0
Material de Librería	Q. 100,00	2	Q. 200,00
Gasolina	Q. 100,00	6	Q. 600,00
Prueba de poder calorífico	Q. 600,00	1	Q. 600,00
Total del Proyecto			Q. 3 500,00

Fuente: elaboración propia.

13.1. Factibilidad del estudio

La información necesaria para realizar este proyecto está presente dentro del *campus* central de la Universidad de San Carlos. Mucha de esta información es de carácter público o según solicitud sin mayor inconveniente. Los costos que se pueden observar en la Tabla III son factibles para el estudiante de postgrado, pueden existir variaciones pero siempre dentro del rango de lo admisible. Mayormente, es necesaria la realización de cálculos matemáticos y estadísticos de los datos recabados para plantear una propuesta viable.

14. BIBLIOGRAFÍA

1. Anónimo. *Central de cogeneración mediante biomasa*. Madrid, España: UNESA Asociación Española de la Industria Eléctrica, 2016.
2. Anónimo. *Energía eléctrica*. Buenos Aires, Argentina: Bio-Escuela, 2016.
3. Anónimo. *Generación: centrales eléctricas, centrales térmicas, centrales nucleares, centrales hidroeléctricas, centrales solares, parques eólicos, centrales de biomasa*. Madrid, España: Endesa Educa, 2014.
4. Anónimo. *¿Es realmente la biomasa neutra en emisiones de carbono?* Lérida, España: Imartec, 2014.
5. Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). *Guía técnica de diseño de centrales de calor eficientes*. Madrid, España: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2010.
6. CANO, C. *Calefacción de distrito urbana con biomasa de la Universidad de Valladolid: objetivo 20/20/20. (CONAMA 2014)*. Valladolid, España: Universidad de Valladolid, 2014.
7. CHAPARRO, C.; et al. *Eficiencia energética. Qué es EE*. Santiago, Chile: Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE), 2014.

8. DE LEÓN, J. S. *Estudio de factibilidad para producción de energía eléctrica, a partir de biomasa de eucalipto*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2010.
9. FAO. *Memoria - Reunión regional sobre generación de electricidad a partir de biomasa (1995)*. Santiago, Chile: Oficina Regional de la FAO, 1995.
10. HERNÁNDEZ, H. *Generación distribuida renovable en Guatemala*. San Salvador, El Salvador: Latinoamérica Renovable, LLC, 2014.
11. LÓPEZ, M. R. *Lineamientos de política energética universitaria (propuesta)*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015.
12. LÓPEZ, M. R. *Sistema de gestión de la energía, mediante la metodología ISO 50001:2011, para la ciudad universitaria, zona 12, Universidad de San Carlos de Guatemala (2015)*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015.
13. MÍGUEZ, C. D. (2013). *La eficiencia energética en el uso de la Biomasa para la generación de energía eléctrica: optimización energética y exergética*. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid, 2013.

14. OROZCO, J. M. *Estudio de factibilidad para la generación de energía eléctrica en Olmeca S.A.* Ciudad de Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. 2012.
15. VELÁSQUEZ, S. *Generación distribuida caso Guatemala.* Ciudad de Guatemala, Guatemala: Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), 2013.

