



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE GASIFICACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE
ENERGÍA ELÉCTRICA, A TRAVÉS DE BIOMASA (CÁSCARA DE MACADAMIA) EN LA
MODALIDAD DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA RENOVABLE (GDR)**

Edwin Iván Ramírez Avalos

Asesorado por MSc. Ing. Hugo Yovany Sánchez Ochoa

Guatemala, mayo de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE GASIFICACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE
ENERGÍA ELÉCTRICA, A TRAVÉS DE BIOMASA (CÁSCARA DE MACADAMIA) EN LA
MODALIDAD DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA RENOVABLE (GDR)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EDWIN IVÁN RAMÍREZ AVALOS

ASESORADO POR MSC. ING. HUGO YOVANY SÁNCHEZ OCHOA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, MAYO 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. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonzo Rivera Carrillo
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Morataya Ramos
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

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: ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE GASIFICACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA, A TRAVÉS DE BIOMASA (CÁSCARA DE MACADAMIA) EN LA MODALIDAD DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA RENOVABLE (GDR)

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 19 de noviembre de 2016.

Edwin Iván Ramírez Avalos



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

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



ADSE-MEAPP-029-2015

Guatemala, 19 de noviembre de 2016.

Director
José Francisco González López
Escuela de Ingeniería Eléctrica
Presente.

Estimado Director:

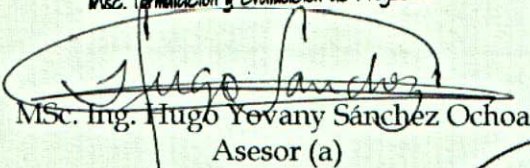
Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del (la) estudiante **Edwin Iván Ramírez Avalos** carné número **2000-10638**, quien opto la modalidad 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.

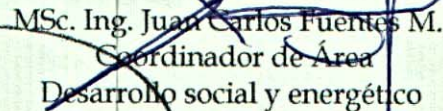
Sin otro particular, atentamente,


Hugo Yovany Sanchez Ochoa
Ingeniero Electricista
Colegiado 5515
Msc. Formulación y Evaluación de Proyectos

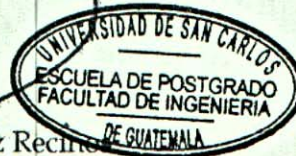
"Id y Enseñad a Todos"


MSc. Ing. Hugo Yovany Sánchez Ochoa
Asesor (a)

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


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


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

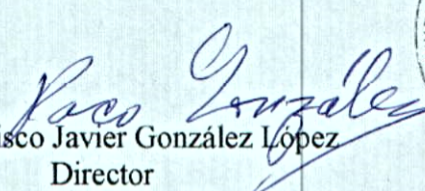


Cc: archivo
/la



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: ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE GASIFICACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A TRAVÉS DE BIOMASA (CÁSCARA DE MACADAMIA) EN LA MODALIDAD DE GENERACIÓN DISTRIBUÍDA RENOVABLE (GDR)**, presentado por el estudiante universitario Edwin Iván Ramírez Avalos 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

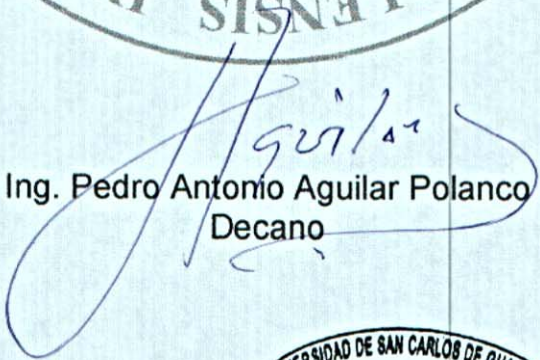


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.D.231.2017

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: ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE GASIFICACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA, A TRAVÉS DE BIOMASA (CÁSCARA DE MACADAMIA) EN LA MODALIDAD DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA RENOVABLE (GDR)**, presentado por el estudiante universitario **Edwin Iván Ramírez Avalos**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, mayo de 2017

/cc



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por su infinito amor y bondad al brindarme salud y sabiduría para alcanzar mis metas.
Mis padres	Elizabeth Avalos y Santiago López por sus enseñanzas, amor y apoyo incondicional.
Mi esposa	Karina García por apoyarme en cada momento de alegría y tristeza en el transcurso de mi carrera.
Mis hermanos	Osmin, Mildred, Kevin por ser parte de mi motivación y brindarme su cariño.
Mis tíos	Sandy, Otto y especialmente tío Mario (q.e.p.d) Por su apoyo y constante seguimiento en el desarrollo de mi meta.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme la oportunidad de formar parte de tan prestigiosa casa de estudios.
Facultad de Ingeniería	Por convertirse en un segundo hogar y formarme a nivel profesional.
Mis amigos de la Facultad	Por todos los momentos compartidos que forman parte de mi vida.
MSc. Ing. Murphy Paiz	Por su constante innovación en pro de la academia y de la Facultad de Ingeniería.
Mis catedráticos y asesores	Por compartir sus conocimientos y experiencias.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
3.1. Descripción del problema	7
3.1.1. Falta de aprovechamiento de los desechos de la nuez de macadamia	7
3.1.2. Uso alternativo de la cáscara de macadamia con fines energéticos.....	8
3.2. Formulación del problema	8
3.2.1. Preguntas de investigación.....	9
3.2.1.1. Pregunta central	9
3.2.1.2. Preguntas auxiliares	9
3.3. Delimitación del problema	10
3.3.1. Delimitación sectorial.....	10
3.3.2. Delimitación geográfica	10
3.3.3. Delimitación tecnológica	11
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	17
5.1. Objetivo general	17

5.2.	Objetivos específicos	17
6.	ALCANCES Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	19
7.	MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	21
7.1.	Biomasa	21
7.1.1.	Definición.....	21
7.1.2.	Características importantes de la biomasa.....	21
7.2.	La nuez de macadamia	23
7.2.1.	Características de la nuez de macadamia.....	23
7.2.2.	Potencial calorífico	24
7.3.	Proceso de conversión de energía.....	25
7.3.1.	Tipos de procesos	25
7.3.2.	Gasificación.....	26
7.3.2.1.	Tipos de gasificadores	27
7.4.	Sistema de generación.....	30
7.4.1.	Motor de combustión interna.....	30
7.4.2.	Generador síncrono	30
7.4.2.1.	Principio de funcionamiento	31
7.5.	Subestación eléctrica	31
7.5.1.	Transformadores de potencia.....	32
7.5.1.1.	Sistema de enfriamiento.....	32
7.5.2.	Sistema de red de tierra física.....	33
7.5.3.	Sistema de protección	34
7.5.3.1.	Componentes	35
7.6.	Generación distribuida renovable – GDR.....	37
7.6.1.	Legislación	37
7.7.	Análisis económico y financiero	38
7.7.1.	Valor presente neto (VAN)	38

7.7.2.	Tasa interna de retorno (TIR)	39
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE GENERAL	41
9.	METODOLOGÍA.....	45
9.1.	Tipo de estudio	45
9.2.	Fases del estudio	45
9.2.1.	Fase 1: investigación bibliográfica	45
9.2.2.	Fase 2: recolección de datos	46
9.2.3.	Fase 3: análisis de datos	48
9.2.4.	Fase 4: presentación de resultados y discusión	50
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	51
10.1.	Estadística descriptiva	51
10.2.	Análisis matemático.....	51
10.3.	Análisis financiero.....	52
11.	CRONOGRAMA.....	53
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	55
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
	APÉNDICES	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Matriz energética de Cuba	4
2.	Ubicación geográfica.....	11
3.	Esquema de un gasificador de lecho fluidizado	29
4.	Equipo para medición de resistividad.....	47
5.	Cronograma de actividades	53

TABLAS

I.	Recolección de datos	46
II.	pruebas con biomasa seca y biomasa humedad	46
III.	Recopilación de presupuestos económicos por parte de empresas comercializadoras de equipos mecánicos.....	48
IV.	Presupuesto económico.....	56

1. INTRODUCCIÓN

Guatemala presenta una creciente demanda energética consecuencia de su desarrollo económico y entre sus fuentes principales de abastecimiento se encuentran los derivados del petróleo, la energía eléctrica y representando el 56,84 % por la leña como fuente de cocción de alimentos, esto según el Ministerio de Energía y Minas (MEM, 2012). Esto conlleva al uso no sostenible de los recursos naturales tiene consecuencias negativas para el medio ambiente y la seguridad energética del país.

El trabajo investigativo aporta el estudio y análisis para el uso de biomásas alternativas con fines energéticos, para contribuir con la reducción del uso de fuentes energéticas no amigables al ambiente.

El diseño de esta investigación desarrolla la generación de electricidad a partir de biomásas alternativas, tal es el caso de la cáscara de macadamia, contribuyendo en el desarrollo sostenible de la Finca Valhalla, ubicada en el departamento de Sacatepéquez.

Actualmente se han desarrollado tecnologías para aprovechar todo el potencial calorífico de las biomásas, por ello en diferentes países industrializados como Austria han logrado inyectar a la red del sistema eléctrico un total 9.5 Gwh en un año, utilizando la cáscara de macadamia como fuente primaria energética.

La falta de estudios y aprovechamiento de los residuos orgánicos han dejado rezagado la producción de energía renovable a pequeña escala, lo cual

hace que se continúe dependiendo únicamente de combustibles fósiles. Agregado a esto, se está anuente a todas las interrupciones y fallas que el sistema de distribución pueda tener, lo que conlleva al uso de fuentes secundarias de energía para suplir su demanda energética con combustible Diésel.

El proceso de generación de electricidad conlleva inicialmente un conocimiento teórico y conceptual de las variables involucradas en todo el sistema de conversión de energía, los cuales serán integrados en la fase 1 de la investigación.

La recopilación, cuantificación de la biomasa, mediciones de resistividad del suelo, consumo energético de la Finca, poder calorífico de la cáscara de macadamia serán representados en la fase 2.

Los análisis de datos como el potencial calorífico, resultados del proceso de gasificación, capacidad de potencia generada se desarrolla en la fase 3

Finalmente, en la fase 4 se presentará los resultados, diseños eléctricos, características de equipos, la discusión y conclusiones del estudio.

Como un adicional a la investigación, se presentará un análisis económico básico para determinar la viabilidad del proyecto de generación, ya que se considera necesario realizar estudios que conlleven a acciones, ayudando al auto sostenimiento energético de la Finca Valhalla enmarcando así la línea de investigación del programa de maestría de Energía y Ambiente en el cual aborda la “Gestión y uso eficiente de la leña en Guatemala”.

2. ANTECEDENTES

A nivel mundial, la utilización de fuente energía renovable ha ido incrementándose para minimizar el uso de combustibles fósiles o el uso de la leña como fuente energética. Es por ello que se busca nuevas tecnologías y fuentes de energía alternativas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero o la deforestación de bosques.

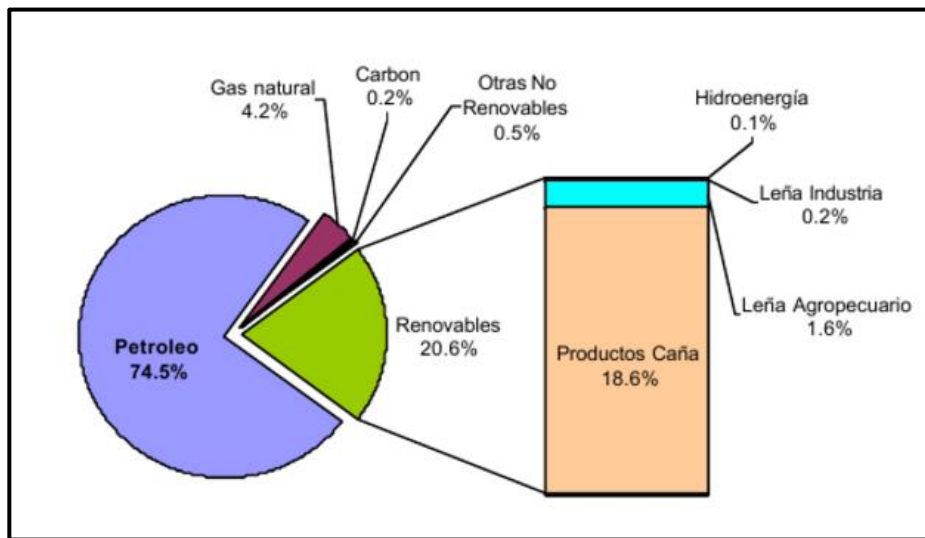
Se tiene el caso de Australia, que representa uno de los países mayoritarios en la producción y exportación de la nuez de macadamia, en un equivalente al 45 % de producción a escala mundial. La utilización de la cáscara de macadamia con fines energéticos ve la luz en el año 2003, siendo la compañía Suncoast Gold Macadamias la primera en implementar la generación de energía eléctrica, a partir de la cáscara de la nuez de macadamia en dicho país. El proyecto desarrolla la construcción de una planta de 1,5 MW de potencia, la cual genera hasta 9,5 Gwh al año.

El proyecto alcanza su máxima capacidad de operación en los años 2005 - 2006, estimando una reducción de 9 500 toneladas de gases de efecto invernadero, utilizando 50 000 toneladas de cáscara de macadamia.

Austria es ejemplo de países donde el Gobierno Federal impone a productores de electricidad, generar el 2 % con fuentes de energía renovable, es por ello que la utilización de la cáscara de la nuez de macadamia es una alternativa viable para su réplica en países como Guatemala.

En el área del caribe, Cuba tiene una dependencia del petróleo del 74,5 %, para la generación de electricidad como lo muestra su matriz energética.

Figura 1. **Matriz energética de Cuba**



Fuente: ResearchGate.net

La matriz energética cubana busca realizar cambios enfocados a fuentes de energía renovables como un proyecto de desarrollo a nivel de país impulsando investigaciones en las áreas académicas.

El grupo de investigadores de la Universidad de Camagüey busca la diversificación de la matriz energética de su país, mediante la generación de electricidad por medio de la gasificación de biomasa procedente del árbol de marabú, es por ello que han desarrollado un equipo gasificador cuyo diseño tiene una baja concentración de alquitrán y polvo, permitiendo el acoplamiento directo a motores de combustión interna sin procesos adicionales de limpieza y

purificación del gas, según indica Travieso y Cala en su artículo científico “Perspectivas de la Generación de Electricidad en Cuba, a partir de la Gasificación de la Biomasa, 2007”. Siendo este mecanismo de transformación energética de la biomasa una forma de integrarse a la matriz energética de la isla, encaminándose a uso de energías renovables.

Los variados climas de Guatemala proveen un escenario para la siembra y cultivo de diferentes tipos de árboles y frutos, tal es el caso del árbol de macadamia cuya nuez es muy cotizada a nivel mundial. En nuestro país uno de los principales productores y exportadores de la nuez de macadamia es la empresa Agronómicas de Guatemala, S.A.

Esta es la empresa productora y recolectora de la nuez de pequeños productores aledaños a la planta, se interesa en el estudio de la biomasa con fines energéticos, es por ello que el año 2012 desarrollan el proyecto de generación de electricidad, por medio de la cáscara de macadamia, en la cual realiza la interconexión a la red de distribución del país por medio de la Distribuidora de Occidente - Deocsa (Energuate) como auto-productores con una capacidad de generación de 500 KW, lo cual ayuda a reducir el consumo energético de la planta y por ende, en una reducción del uso de combustibles fósiles.

La biomasa representa un gran potencial energético para un país, diversificando su matriz energética. Las biomásas pueden generarse de diferentes recursos naturales o desechos orgánicos con lo cual diversifican los métodos para la generación de electricidad. Regil Wald (2008) explica en su trabajo de graduación la utilización de la biomasa, a partir de la madera de Eucalipto por su rápido cultivo y su poder calorífico como una alternativa

energética en los ingenios azucareros del país, para suplir la demanda energética en el período donde culminó la zafra.

Regil realiza un comparativo entre la generación de electricidad por medio de la madera del eucalipto y la generación por medio de Bunker, por ser parámetros comparativos el costo de la materia prima y la capacidad de generación, determinando que la biomasa de eucalipto es un sustituto viable para la generación de electricidad en ingenios azucareros.

Guatemala y otros países centroamericanos su principal fuente energética es la leña, carbón y demás residuos forestales, según el Fondo de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, de los cuales no pasan por procesos para obtener el máximo poder energético. La cascará de la nuez de macadamia puede ser a la vez un sustituto en la cocción de alimentos por medio de briquetas, reduciendo el uso de la leña en hogares de escasos recursos como lo demuestra Tirado en su trabajo de graduación: “Estudio de compactación de la cáscara de nuez para mejorar la calidad de briquetas de biomasa” (2015).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Descripción del problema

3.1.1. Falta de aprovechamiento de los desechos de la nuez de macadamia

La nuez de macadamia se cosecha durante todo el año tiene mayor producción en los meses de mayo a agosto concordando con la época de lluvia en nuestro país. La vida útil de producción del árbol es de 60 años cuyo fruto se madura en 7 meses desde su floración.

La finca Valhalla cuenta con 400 árboles locales, fincas asociadas en Alta Verapaz y producciones locales que proveen la materia prima para la producción y comercialización de la nuez. La siembra y cuidado de los árboles se ha llevado a cabo por un proceso tecnificado lo que ayuda a obtener cosechas entre 75 a 100 libras, por árbol, lo que hace que sea una excelente producción. Debido a que la almendra representa la parte más importante de la nuez para su comercialización los desechos secundarios como la cáscara de macadamia se utilizan principalmente como abono orgánico en la misma plantación, ya que ayuda a retener la humedad y evitar el crecimiento de maleza, el resto de desechos se pierden acumulados en los alrededores de la finca.

3.1.2. Uso alternativo de la cáscara de macadamia con fines energéticos

La cáscara de macadamia puede tener varios usos, entre ellos se puede usar como filtros ecológicos, imitación de madera para usos específicos, realizar manualidades y decoración. Sin embargo, por su alto contenido de aceites, la cáscara de macadamia representa un potencial aprovechable como biomasa energética, tanto para utilizarla como combustible en calderas de vapor o bien realizando un proceso termoquímico para la generación de electricidad.

3.2. Formulación del problema

La problemática de un manejo no adecuado de los desechos sólidos es evidente a nivel macro en nuestro país y a nivel micro como es el caso de la finca Valhalla, esto se hace evidente en la acumulación desordenada de cáscara de macadamia en diversas áreas de la finca, debido a la falta de utilización de los residuos orgánicos provenientes de la producción comercial de la almendra de macadamia.

La cáscara de macadamia representa el mayor desecho orgánico de la finca, ya que este recurso se utiliza únicamente como abono en sus plantaciones, desaprovechando el potencial energético inherente en esta biomasa.

Para suplir su demanda energética la finca se integra a la red de Distribución de Electricidad de la Región, la cual por diversas causas tanto técnicas como climáticas la calidad de la energía entregada al usuario presenta deficiencias en los niveles aceptables de voltajes, distorsión armónica o

interrupciones en el propio suministro eléctrico perjudicando enormemente los equipos eléctricos - electrónicos y la continuidad en la producción comercial de la nuez.

Para contrarrestar las irregularidades en el suministro eléctrico, evitar daños a los equipos y paros en la producción, la finca Valhalla hace uso de generadores de electricidad o plantas eléctricas a base de combustible Diésel provocando su uso un aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero y aumento en los costos de producción.

Todo lo anterior conlleva a un desconocimiento en cuanto a estudios para el aprovechamiento de la cascará de macadamia con fines energéticos en la generación de electricidad.

3.2.1. Preguntas de investigación

3.2.1.1. Pregunta central

¿Qué alternativas de proyectos son viables técnica y financieramente para hacer uso de biomasa con fines energéticos en la Finca Valhalla, Sacatepéquez?

3.2.1.2. Preguntas auxiliares

- ¿Qué potencial energético se puede obtener con el uso de la cáscara de la nuez de macadamia como fuente alternativa de biomasa?

- ¿Qué proyectos se pueden implementar técnicamente en la finca Valhalla para la gestión y uso eficiente de la cáscara de la nuez de macadamia?
- ¿Cuál es la viabilidad financiera para la implementación de proyectos de Generación Distribuida Renovable (GDR) en finca Valhalla?
- ¿Cuáles son los beneficios ambientales asociados con la reducción del consumo energético en la finca Valhalla?

3.3. Delimitación del problema

3.3.1. Delimitación sectorial

Debido a la importancia del desarrollo sostenible en las industrias guatemaltecas, el proyecto se desarrollará en la finca Valhalla, esta finca es un proyecto de desarrollo de agricultura sostenible para las familias guatemaltecas de escasos recursos.

3.3.2. Delimitación geográfica

La investigación se centrará en la finca Valhalla, ubicada en el Km. 52.5 carretera a San Miguel Dueñas, Antigua Guatemala, Sacatepéquez,

La finca se encuentra a 10 minutos de Antigua Guatemala y a un costado de Ciudad Vieja.

Figura 2. **Ubicación geográfica**



Fuente: Mapas de Guatemala.

3.3.3. **Delimitación tecnológica**

El proceso para la transformación de la biomasa de la cáscara de macadamia en fuente energética se llevará a cabo por medio de procesos termoquímicos de gasificación, inyectando el gas combustible resultante en un motor de combustión interna que proveerá la potencia mecánica a un generador síncrono.

4. JUSTIFICACIÓN

Como parte de visión de la finca Valhalla de contribuir al desarrollo sostenible de las familias guatemaltecas de escasos recursos, mediante la capacitación y donación de árboles de macadamia para la siembra y cosecha de la nuez, es necesario desarrollar proyectos energéticos que complementen el desarrollo sostenible de la finca.

Actualmente se utiliza la cáscara de macadamia únicamente para el abono de las plantaciones, desaprovechando su potencial energético y todo el excedente de desechos, consecuentes de la producción y comercialización de la almendra de la nuez, evidenciando en diversas áreas de la finca acumulaciones de cáscara de la nuez, provoca una contaminación visual que puede llegar paulatinamente a convertirse en basureros.

La utilización de la cáscara de macadamia como biomasa para la generación de electricidad conlleva hacer un uso eficiente de los desechos orgánicos disminuyendo de esta forma la acumulación desordenada de la cáscara en varias áreas de la finca e implementado nuevas alternativas de generación, incentivando el uso de energías renovables y por consiguiente, una disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero.

La generación de electricidad en la finca Valhalla tendrá un impacto importante en la reducción del consumo energético en la planta de producción y comercialización de la almendra de la nuez, repercutiendo en una disminución costos de producción y de demanda de energía eléctrica de la finca hacia el sistema de distribución de energía.

Es importante resaltar que, según la publicación de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) en su documento: “Informe estadísticos de calidad 2014” indica que el área rural del país presenta los índices más elevados en reclamos de los usuarios referentes al producto recibido (energía eléctrica), entre los cuales destaca la discontinuidad en el suministro eléctrico, parámetros eléctricos fuera de los rangos permitidos, lo que conlleva a hacer uso de fuentes secundarias de energía cuyo combustible es Diésel, para suplir la demanda energética necesaria para continuar con la producción y comercialización de la nuez de macadamia.

El proyecto se enfocará en la Generación Distribuida Renovable (GDR), por lo que será capaz de independizarse de la red de distribución eléctrica reduciendo su vulnerabilidad en la seguridad energética por fallas en el sistema o por una ineficiente calidad en la energía. Entre los incentivos que presenta la modalidad GDR destaca la exoneración del Impuesto al Valor Agregado (IVA) a las importaciones de equipos para la generación y un período de exoneración en el Impuesto Sobre la Renta (ISR). A la vez, se podrá suministrar a la red el excedente de energía y que en conjunto con la incorporación en los mercados de carbono se obtendrán ingresos económicos.

Elaborar un proyecto de generación con biomasa representará a la comunidad una fuente de empleo, ya que será necesario personal para el control, operación del sistema de generación y para los mantenimientos de los diferentes equipos mecánicos – eléctricos involucrados en la transformación de la biomasa.

El proyecto brindará nuevas propuestas energéticas que permitirán reducir el uso de fuentes energéticas tradicionales como lo son los combustibles fósiles y principalmente la leña, que en Guatemala presenta un consumo del 56,84 %

(Ministerio de Energía y Minas, 2012) contribuyendo de esta manera a la línea de investigación “Gestión y uso eficiente de la leña en Guatemala” del programa de maestría en Energía y Ambiente.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Determinar la factibilidad técnica y financiera de una planta de gasificación para la producción de energía eléctrica, a través de procesos termoquímicos en la cascará de macadamia en finca Valhalla.

5.2. Objetivos específicos

1. Determinar el potencial energético de la cáscara de la nuez de macadamia.
2. Evaluar técnicamente el uso alternativo de la cáscara de la nuez con fines energéticos.
3. Calcular la viabilidad financiera para la implementación de una planta de gasificación para la generación de energía eléctrica como GDR.
4. Describir los beneficios ambientales asociados a la reducción del uso energético en la finca Valhalla, Sacatepéquez.

6. ALCANCES Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

La falta de estudios específicos para desarrollar proyectos energéticos, a partir de biomásas alternativas se evidencia en el desaprovechamiento de la cascará de la nuez de macadamia, la cual con lleva efectos negativos en las áreas:

- Ambientales: por el desperdicio y acumulación de la cascará, usos de combustibles fósiles y sus consecuentes emisiones de GEI.
- Energéticos: relacionados en la seguridad y calidad del suministro energético.
- Económicas: asociadas a pagos en el servicio de energía eléctrica, mantenimientos correctivos a equipos eléctricos – electrónicos para fallas en la red eléctrica del país.

Para desarrollar una solución integral se realizará una gestión eficiente de los recursos energéticos, específicamente la cáscara de macadamia hace uso de procesos termoquímicos (gasificación) para la descomposición y transformación de la energía de la biomasa en gases combustibles (gas de síntesis), los cuales proveerán la energía para mover el rotor de un generador síncrono mediante un motor de combustión interna.

La capacidad de potencia generada se realizará por estimaciones estadísticas, para determinar la biomasa total disponible en la finca tomando en consideración sus asociaciones comerciales en la compra de la nuez a

productores locales, el poder calorífico de la biomasa en el proceso de gasificación y la relación de 1kw-h/kg de biomasa, según las especificaciones de equipos electrógenos de la compañía Shengdong Group entre la cantidad de biomasa y la producción de electricidad.

La generación de energía eléctrica conlleva al desarrollo y diseño de una subestación eléctrica, donde equipos de medición, automatización, transformación, distribución, conexión al SNI y protección son de gran importancia y necesarios para el correcto funcionamiento del sistema. Es por ello que el diseño y especificaciones eléctricas de cada una de las áreas cobran vital relevancia en proyectos GDR y en el presente diseño de investigación.

Esta descripción general del estudio a realizar llevará a lograr hacer un uso eficiente de la cáscara de la nuez, ayuda de esta manera a la línea de investigación “Gestión y uso eficiente de la leña en Guatemala” de la maestría en Energía y Ambiente.

7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

7.1. Biomasa

7.1.1. Definición

La Real Academia Española define biomasa como:

- Material total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o de volumen.
- Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

La biomasa se refiere a toda materia orgánica que proviene de plantas, árboles o desechos de animales que pueden, mediante procesos específicos, ser convertidos en energía. Dependiendo de su origen puede dividirse en biomasa Natural con todos los residuos de la agricultura como el maíz, café, cáscara de macadamia, arroz, del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y biomasa residual con los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros).

7.1.2. Características importantes de la biomasa

La biomasa al igual que toda materia tiene características propias que deben de tomarse en cuenta para su selección, entre ellas se encuentran:

- Composición física y química: importante para determinar el tipo de sub producto energético a generar o tipo de combustible; se puede decir que

los desechos animales producen altas cantidades de gas metano, mientras que la madera puede producir un gas denominado "gas pobre. Las características físicas se relacionan con el tratamiento previo que sea necesario aplicar a la biomasa.

- Contenido de humedad (H.R.): es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Para todo proceso de conversión de energía es imprescindible que la biomasa tenga un porcentaje menor al 30 % en su contenido de humedad.
- Porcentaje de cenizas: se refiere a 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 y su composición. En algunos casos, la ceniza de la cascarilla de arroz se usa para la fabricación de filtros de carbón activado o como un aditivo en la mezcla de concreto.
- Poder calorífico: es el parámetro que determina por unidad de masa, la energía disponible en la biomasa. El poder calorífico está relacionado directamente con el contenido de humedad. Un porcentaje elevado de humedad reduce la eficiencia de la combustión, debido a que una gran parte del calor que se libera se usa para evaporar el agua y no se aprovecha en la reducción química del material.
- Densidad aparente: se define como el peso por unidad de volumen del material en el estado físico que presenta, bajo condiciones dadas. Combustibles con alta densidad aparente favorecen la relación de energía por unidad de volumen, requiriéndose menores tamaños de los equipos y aumentando los períodos entre cargas. Caso contrario los

materiales con baja densidad aparente necesitan un mayor volumen de almacenamiento y transporte.

- **Recolección, transporte y manejo:** las condiciones para la recolección, el transporte y el manejo de la biomasa son factores determinantes en la determinación de los costos de inversión y operación en todo el proceso de conversión energética. La ubicación del material con respecto a la planta de procesamiento y la distancia hasta el punto de utilización de la energía convertida, deben analizarse detalladamente para lograr un nivel de operación del sistema por encima del punto de equilibrio, con relación al proceso convencional.

7.2. La nuez de macadamia

7.2.1. Características de la nuez de macadamia

La macadamia es originaria de Australia en la región de los bosques húmedos de Queensland. Según la Asociación Nacional del Café (Anacafé) existen 10 especies de macadamia, la especie *Integrifolia* es la más comercial por su calidad en el fruto.

El árbol de macadamia es de una veta dura, sus ramas son quebradizas y las flores están agrupadas en racimos de 12 a 30 centímetros. El cultivo del árbol se adapta a alturas de van desde los 600 hasta los 1 600 msnm.

La forma esférica de la nuez está compuesta por una parte comestible llamada almendra, la cual está recubierta por una concha y una cáscara. El aprovechamiento principal de la nuez de macadamia es la almendra, debido a su alto poder alimenticio y sabor. Los diferentes sub productos que proceden de

la nuez se utilizan en las áreas de gastronomía, confitería, heladería y en la industria cosmética, debido a sus aceites.

Según Lavín, Lemus, Contreras, Negrón y Orellana el rendimiento del fruto ronda entre 7 000 a 8 000 Kg/Ha. En 2003, Guatemala alcanzó una producción de 9 800 toneladas, según Archilla (2003) lo que constituye un importante cultivo para nuestro país.

7.2.2. Potencial calorífico

Como se describió anteriormente, el potencial calorífico es el contenido calórico por unidad de masa. Es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa. Se distinguen dos variables:

Poder calorífico superior (PCS) o poder calorífico bruto (PCB) es la cantidad de calor total en consecuencia de una combustión de la biomasa, teniendo en cuenta el calor que estará latente en la evaporación del agua existente en la biomasa.

El poder calorífico inferior (PCI) o poder calorífico neto (PCN) excluye el calor latente en la evaporación del agua, por lo que es la cantidad de calor disponible en el proceso de combustión. La unidad de medición son Kilo o Mega Julios por kilogramo de biomasa (KJ/Kg, MJ/Kg).

Para determinar el valor calorífico de una biomasa a nivel teórico se debe aplicar la ley de Hess o en laboratorios directamente con un equipo calorímetro en los cuales requieren muestra de la biomasa. La biomasa a evaluar en la investigación es la cáscara de macadamia como fuente energética.

7.3. Proceso de conversión de energía

Antes que la biomasa pueda ser utilizada con fines energéticos tiene que ser convertida a una forma más conveniente para su transporte y utilización.

7.3.1. Tipos de procesos

Existen diferentes procesos de conversión de la energía de la biomasa, destacándose las tres categorías:

- Procesos de combustión directa:

Esta forma es la más antigua y común para extraer la energía de la biomasa. Los sistemas de combustión directa son aplicados para generar calor, el cual puede ser utilizado directamente para la cocción de alimentos o para el secado de productos agrícolas, entre otros. Además, se puede aprovechar en la producción de vapor para procesos industriales y electricidad. Las tecnologías de combustión directa van desde sistemas simples, como estufas, hornos y calderas, hasta otros más avanzados como combustión de lecho fluidizado.

- Métodos bioquímicos:

Estos procesos utilizan las características bio-químicas de la biomasa y la acción metabólica de organismos microbiales para producir combustibles gaseosos y líquidos. Son más apropiados para la conversión de biomasa húmeda que los procesos termo-químicos. Los más importantes son: digestión anaeróbica y aeróbica, gas de rellenos sanitarios, combustibles alcohólicos, biodiesel.

- Métodos termoquímicos:

Se basan en la utilización del calor como fuente de transformación de la biomasa. Están muy desarrollados para la biomasa seca, sobre todo para la paja y la madera. Los más importantes son: Combustión, Pirolisis, Pirolisis flash y gasificación.

7.3.2. Gasificación

Entre los procesos de conversión de energía termoquímicos se destaca la gasificación, la cual consiste en la combustión incompleta de la biomasa en presencia de oxígeno debidamente controlado.

La gasificación se realiza en un contenedor cerrado donde se introduce la biomasa y una cantidad de aire adecuada para que la biomasa no llegue a una combustión completa. Como producto principal se obtiene un gas combustible compuesto por hidrógeno, metano y monóxido de carbono.

La limpieza del gas resultante en el proceso de gasificación es el principal problema que presenta las tecnologías para la generación de electricidad. El alquitrán es una sustancia oscura, de olor fuerte y viscosa que se genera, a partir de la destilación de ciertos materiales resinosos, vegetales o minerales.

A pesar de ello, la gasificación tiene una serie de ventajas:

- El gas producido es más versátil y se puede usar para los mismos propósitos que el gas natural.
- Puede quemarse para producir calor y vapor y puede alimentar motores de combustión interna y turbinas de gas para generar electricidad.

7.3.2.1. Tipos de gasificadores

Los gasificadores son reactores en forma de cilindros los que se caracterizan por el tipo de combustible sólido utilizado y la manera en que el combustible y el aire entran al gasificador produciendo la reacción deseada. Existen diferentes tipos de gasificadores, entre los más utilizados son:

- Gasificador Updraft

En sus variantes de tipo lecho fijo o lecho móvil donde las corrientes de combustible y el agente gasificante circulan en sentido opuesto, es decir, en contracorriente. En este tipo de gasificador se logran altas eficiencias, aunque por otro lado este sistema de gasificación posee algunas desventajas como el alto contenido de alquitrán del gas producido y la capacidad marginal que tiene en su carga, por lo que imposibilita la generación de gas continuo, que redundaría en dificultades para la utilización en motores de combustión interna. Los gasificadores de lecho móvil se utilizan para biomásas trituradas con dimensiones de uno a diez centímetros. El de lecho móvil en contracorriente es el reactor más simple.

- Gasificador Downdraft

Con sus variantes de tipo lecho fijo o lecho móvil, este tipo de gasificador difiere del Updraft, porque las corrientes de combustible y agente gasificante circulan el mismo sentido. Las dificultades que da esta configuración es el contenido de cenizas y humedad en el gas producido y por otra parte que requiere de un tiempo prolongado de encendido que varía entre 20 y 30 minutos.

La principal desventaja de este reactor frente al updraft es la alta temperatura del gas de salida, lo que origina una eficiencia más baja. Por otro lado, cabe destacar que a pesar de que el gas obtenido tiene una baja calidad energética tiene la ventaja de tener un contenido bajo de alquitranes. Además, este tipo de configuración es más aceptable para aplicaciones en motores de combustión interna y turbinas de gas.

- Gasificador Crossdraft

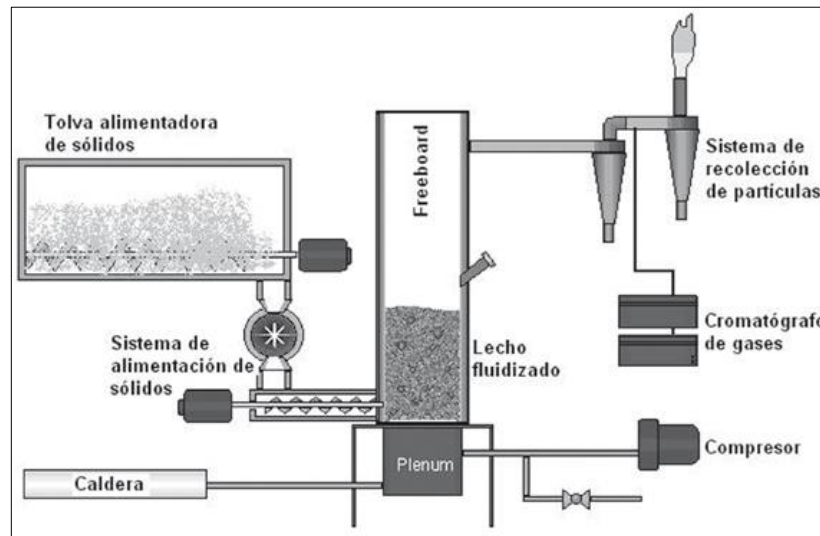
Bajo la misma mecánica de los gasificadores anteriores, este tipo de gasificador tiene las corrientes de combustible y agente gasificante perpendiculares entre ellas.

- Gasificadores de lecho fluidizado

En este reactor el secado, la oxidación, la pirolisis y la reducción tienen lugar en la misma área. Los lechos fluidizados son gasificadores versátiles y son únicamente sensibles al tamaño del combustible. Los gasificadores de lechos fluidizados tienen altos niveles de transferencia de masa y energía, proporciona una buena mezcla de la fase sólida, lo que conlleva a que los niveles de reacción son altos, el tiempo de residencia de las partículas es pequeño y la temperatura es más o menos constante en el lecho. Los gasificadores de lecho fluidizado se pueden clasificar dependiendo de la velocidad de fluidización, en lecho fluidizado burbujeante (velocidad de fluidización de 1 - 2 m/s) y en lecho fluidizado circulante (velocidad de fluidización mayor de 5 m/s) (Rodríguez et al., 2004).

Otra ventaja es que el volumen de gas producido por unidad de volumen del reactor es superior al de los gasificadores de lecho móvil, lo que se traduce en un menor precio.

Figura 3. **Esquema de un gasificador de lecho fluidizado**



Fuente: Ensayo de gasificación de biomasa residual en el sector floricultor.

- **Gasificadores rotatorios**

El funcionamiento de este tipo de gasificador presenta similitudes con los reactores de lecho móvil, sobre todo, por lo que respecta a la parte mecánica que facilita el desplazamiento de los sólidos lo que hace más fácil la operación continua del sistema. Algunas ventajas que ofrecen son los tiempos cortos para el procesamiento en comparación con los reactores de lecho fijo y el procesamiento de materias primas con un rango amplio de propiedades físico-químicas. Debido a la baja temperatura de salida de gases, el rendimiento térmico es bueno, pero se producen alquitranes y aceites por destilación del sólido.

7.4. Sistema de generación

7.4.1. Motor de combustión interna

El motor de combustión interna es una máquina que convierte su energía primaria, la cual normalmente es combustible líquido gasificado en una energía de rotación mecánica.

El principio de funcionamiento se basa en el quemado de una mezcla comprimida de aire y combustible dentro de un cilindro o cámara cerrada, con el fin de incrementar la presión y generar con suficiente potencia el movimiento lineal y alternativo del pistón.

Este movimiento resultante es transmitido por medio de la biela al eje principal del motor, donde se convierte en movimiento rotatorio, el cual se transmite a los mecanismos de transmisión de potencia.

A través del proceso de combustión desarrollado en el cilindro, la energía química contenida en el combustible es transformada primeramente en energía calorífica, parte de la cual se transforma en energía cinética (movimiento) y a la que a su vez se convierte en trabajo útil aplicable al rotor del generador síncrono.

7.4.2. Generador síncrono

La operación de los sistemas eléctricos de potencia requiere la conversión de energía primaria (rotación mecánica) en energía y potencia eléctrica. El generador síncrono es la máquina eléctrica mayormente utilizada para realizar esta conversión energética.

7.4.2.1. Principio de funcionamiento

El generador síncrono es una máquina electromecánica con una pieza giratoria denominada Rotor, cuya bobina se excita mediante la inyección de una corriente directa o continua (DC) y una pieza fija denominada Estator por cuya bobina circula corriente alterna (AC). Las corrientes alternas que circulan por los enrollados del estator producen campo magnético rotatorio que gira en el entre hierro de la máquina, con la frecuencia angular de las corrientes de armadura. El rotor debe girar a la misma velocidad del campo magnético rotatorio producido en el estator para que el par eléctrico medio pueda ser diferente de cero. Si las velocidades angulares del campo magnético rotatorio y del rotor de la máquina sincrónica son diferentes, el par eléctrico medio es nulo. Por esta razón, a esta máquina se denomina sincrónica. El rotor gira mecánicamente a la misma frecuencia del campo magnético rotatorio del estator durante la operación en régimen permanente de la máquina, (Aller, 2007).

7.5. Subestación eléctrica

Una subestación es el conjunto de equipos eléctricos destinados a modificar y establecer los niveles de voltaje en el suministro de energía eléctrica a un nivel de tensión diferente al captado en sus líneas primarias que puedan facilitar su transmisión y distribución.

La subestación eléctrica a estudiar son las denominadas subestaciones elevadoras, situadas en los puntos de generación eléctrica, ya que elevan el voltaje de salida en los bornes del generador hasta un nivel apropiado para las líneas de transmisión. El principal equipo eléctrico encargado de realizar esta conversión es el transformador de potencia.

7.5.1. Transformadores de potencia

Se denomina transformador a una máquina eléctrica que permite aumentar o disminuir la tensión o voltaje en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo constante la frecuencia. La potencia que ingresa al equipo no varía en el caso de un transformador ideal (sin pérdidas), pero las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño, tamaño, entre otros.

El principio de funcionamiento se basa en el fenómeno de la inducción electromagnética y están contruidos por dos bobinas devanadas sobre un núcleo cerrado de hierro dulce o hierro silicio.

Las bobinas o devanados se denominan primarios y secundarios, según correspondan a la entrada o salida de las corrientes eléctricas.

Los transformadores de potencia son los que se utilizan para subestaciones y transformación de energía en media y alta tensión. Se aplican en subestaciones, centrales de generación y grandes usuarios de potencia. Se construyen en potencias, voltajes y frecuencias estandarizadas, según la región o país en donde se utilizará.

7.5.1.1. Sistema de enfriamiento

Durante su operación el transformador genera pérdidas en forma de calor. Por esto, es necesario un sistema de refrigeración que mantenga al transformador dentro de los niveles de temperatura aceptables, ya que en el caso que se den sobre temperaturas en los aislamientos, estos presentarán una reducción en su tiempo de vida útil de manera considerable.

Para la identificación de los tipos de refrigeración la normativa clasifica estos sistemas con un acrónimo de cuatro letras:

- Primera letra: designa el fluido refrigerante primario que está en contacto con las partes activas del transformador. (Aire/Air_ A); (Aceite/Oil_ O); (Agua/Water_W)
- Segunda letra: designa el método de circulación del fluido primario. Natural (N); forzada (F); dirigida (D).
- Tercera letra: designa el fluido refrigerante secundario con la misma nomenclatura del refrigerante primario.
- Cuarta letra: designa el método de circulación del fluido secundario con la misma nomenclatura de la circulación del fluido primario.

7.5.2. Sistema de red de tierra física

Un sistema de red o puesta a tierra física es el conjunto de medidas que se han de tomar en cuenta para conectar una pieza eléctricamente conductora a tierra. El sistema de puesta a tierra es una parte esencial de las redes de energía, tanto en los niveles de alta como de baja tensión. Se necesita un buen sistema de puesta a tierra para cumplir con las demandas de seguridad humana, animal y de equipos que garanticen su integridad y correcto funcionamiento.

Las propiedades eléctricas de una puesta a tierra dependen de dos parámetros: la resistencia de puesta a tierra y la configuración del electrodo de tierra. La resistencia de la puesta a tierra determina la relación entre la tensión de tierra y el valor de la corriente de tierra. La configuración del electrodo de tierra determina la distribución del potencial sobre la superficie del terreno, que se produce como resultado de la circulación de corriente en la tierra.

Las principales funciones de la red de tierras son:

- Proteger a los individuos limitando las tensiones de paso, de contacto a valores tolerables por el cuerpo humano en las vecindades de la instalación durante condiciones de corto circuito.
- Proporcionar un medio para disipar a la corriente eléctrica en la tierra bajo condiciones normales o de corto circuito sin exceder los límites operacionales de los equipos primarios de alta tensión o afectar adversamente el servicio eléctrico.
- Asegurar el buen funcionamiento de los equipos de protección haciendo más selectivo el aislamiento de la sección de la red en falla.
- Minimizar la interferencia de los circuitos de transmisión y distribución sobre los sistemas de comunicación y control.
- Mantener ciertos puntos de la red a un potencial definido como referencia a la tierra, “potencial cero”.
- Proteger la red contra descargas electroatmosféricas.
- Permitir a la red de tierra un camino de fácil circulación a la referencia de tierra.

7.5.3. Sistema de protección

El correcto funcionamiento de los elementos de protección de los sistemas eléctricos depende de importantes características las que destacan:

- Selectividad
- Confiabilidad
- Velocidad
- Seguridad
- Economía

- Simplicidad
- Coordinación

Los usos de los elementos de protección de sistemas eléctricos dependerán del sistema donde se emplearán generadores, motores, transformadores, líneas de transmisión.

El objetivo de las protecciones de los sistemas eléctricos es evitar la destrucción de un conjunto de equipos o dispositivos interconectados en una tarea común por causa de una falla que podría iniciarse de manera simple y después extenderse sin control en forma encadenada. El sistema de protecciones debe aislar la parte donde se ha producido la falla buscando perturbar lo menos posible la red.

7.5.3.1. Componentes

Los componentes involucrados y que destacan en un sistema de protección de sistemas eléctricos son:

- Los relés de protección o relevadores:

Son los encargados de ordenar disparos en caso de alguna falla. Son el cerebro del sistema de protecciones, ya que contienen la lógica o secuencia que deben seguir los interruptores. Se comunican con el sistema de potencia por medio de los elementos de medición y ordenan la operación de dispositivos tales como interruptores, reconectores y otros.

- Los interruptores

También llamados fusibles, flipones o breakers, realizan la conexión o desconexión de las redes eléctricas. Son gobernados por los relevadores y operan directamente el sistema de potencia.

- Sistema de alimentación del sistema de protecciones.

La alimentación de los interruptores, relevadores y demás elementos involucrados se realizan con una alimentación de energía eléctrica independiente del sistema protegido, con el fin de garantizar autonomía en la operación. De esta forma, los relés e interruptores puedan efectuar su trabajo sin interferir. Es común que estos sistemas sean de tensión continua y estén alimentados por baterías o pilas.

- Sistema de comunicaciones.

Los sistemas de comunicación permiten conocer el estado de interruptores y relés con el fin de realizar operaciones y analizar el estado del sistema eléctrico de potencia. Existen varios sistemas de comunicación. Algunos de estos son:

- Nivel 0. Sistema de comunicaciones para operación y control en sitio.
- Nivel 1. Sistema de comunicaciones para operación y control en cercanías del sitio.
- Nivel 2. Sistema de comunicaciones para operación y control desde el centro de control local.

- Nivel 3. Sistema de comunicaciones para operación y control desde centros de control nacional.

7.6. Generación distribuida renovable – GDR

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica define Generación Distribuida Renovable como la modalidad de generación de electricidad, producidas por unidades de tecnologías de generación con recursos renovables, que se conectan a instalaciones de distribución cuyo aporte de potencia neto es inferior o igual a lo que establece el Reglamento de la Ley General de Electricidad (RLGE).

7.6.1. Legislación

La Ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable, en su Artículo 1 declara de urgencia e interés nacional el desarrollo racional de los recursos energéticos renovables.

En el Artículo 5 de la Ley se detalla los incentivos otorgados a cualquier personal individual, municipalidades o instituciones, entre los que destacan.

- Exención de derechos arancelarios para las importaciones, incluyendo el IVA sobre las importaciones de maquinaria y equipo utilizados exclusivamente para la generación de energía.
- Exención del pago de ISR por un periodo de 10 años.

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica, en conformidad a lo estipulado en la Ley General de Electricidad, emite la Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Auto productores con Excedentes de Energía.

Según el Artículo 3 el objetivo de la Norma es establecer las disposiciones generales que deben cumplir los Generadores Distribuidos Renovables y los Distribuidores para la conexión, operación, control y comercialización de energía eléctrica producidas con fuentes renovables.

7.7. Análisis económico y financiero

El análisis económico pretende determinar cuál es el monto de los recursos económicos necesarios para realización del proyecto, cuál será el costo total de la operación de la planta y otros indicadores para realizar un análisis final de la evaluación económica. El objetivo de un análisis económico financiero de cualquier proyecto de inversión para determinar la rentabilidad de la inversión.

7.7.1. Valor presente neto (VAN)

Es un método de valoración de inversiones que puede definirse como la diferencia entre el valor actualizado de los cobros y de los pagos generados por una inversión. Proporciona una medida de la rentabilidad del proyecto analizado en valor absoluto, es decir expresa la diferencia entre el valor actualizado de las unidades monetarias cobradas y pagadas.

Analíticamente se expresa como la diferencia entre el desembolso inicial (que no se actualiza, ya que se genera en el momento actual) y el valor actualizado, al mismo momento, de los cobros y pagos futuros, a los que se denomina flujos de caja:

7.7.2. Tasa interna de retorno (TIR)

La tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR) de una inversión está definida como la tasa de interés con la cual el valor actual neto o valor presente neto es igual a cero.

- La tasa interna de retorno es un indicador de la rentabilidad de un proyecto, que se lee a mayor TIR, mayor rentabilidad. Por esta razón, se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. Para ello, la TIR se compara con una tasa mínima o tasa de corte, que será el coste de oportunidad de la inversión.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

GLOSARIO

RESUMEN

OBJETIVOS

1. TÍTULO

2. INTRODUCCIÓN

3. ANTECEDENTES

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

4.1. Descripción del problema

4.2. Formulación del problema

4.2.1. Preguntas de investigación

4.2.1.1. Pregunta central

4.2.1.2. Preguntas auxiliares

4.3. Delimitación del problema

4.3.1. Delimitación sectorial

4.3.2. Delimitación geográfica

4.3.3. Delimitación tecnológica

4.4. Árbol del problema

5. JUSTIFICACIÓN

6. OBJETIVOS

- 6.1. Objetivo general
- 6.2. Objetivos específicos

7. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

8. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

- 8.1. Biomasa
 - 8.1.1. Definición
 - 8.1.2. Características importantes de la biomasa
- 8.2. La nuez de macadamia
 - 8.2.1. Características de la nuez de macadamia
 - 8.2.2. Potencial calorífico
- 8.3. Proceso de conversión de energía
 - 8.3.1. Tipos de procesos
 - 8.3.2. Gasificación
 - 8.3.2.1. Procesos químicos
 - 8.3.2.2. Tipos de gasificadores
- 8.4. Sistema de generación
 - 8.4.1. Motor de combustión interna
 - 8.4.1.1. Características del gas de síntesis
 - 8.4.2. Generador síncrono
 - 8.4.2.1. Principio de funcionamiento
 - 8.4.2.2. Comportamiento de generadores en paralelo
 - 8.4.2.3. Control de parámetros eléctricos en el generador
- 8.5. subestación eléctrica
 - 8.5.1. Transformadores de potencia

- 8.5.1.1. Sistema de enfriamiento
 - 8.5.2. Sistema de red de tierra física
 - 8.5.3. Sistema de protección
 - 8.5.3.1. Componentes eléctricos en los sistemas de protección
- 8.6. Generación distribuida renovable – GDR
 - 8.6.1. Concepto de GDR
 - 8.6.2. Legislación
 - 8.6.3. Autoconsumo y venta de excedentes de energía
- 8.7. Análisis económico y financiero
 - 8.7.1. Análisis valor actual neto - VAN
 - 8.7.2. Análisis tasa interna de retorno – TIR
- 9. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN
 - 9.1. Recolección de datos
 - 9.2. Análisis de datos
 - 9.3. Diseños y esquemas
- 10. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
 - 10.1. Presentación de tablas
 - 10.2. Presentación de gráficos
 - 10.3. Presentación de diseños eléctricos
- 11. DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y DISEÑOS
- 12. CONCLUSIONES
- 13. RECOMENDACIONES
- 14. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS
- 15. ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Tipo de estudio

La investigación desarrollará primeramente un estudio descriptivo en el cual se dan a conocer los generales sobre las instalaciones de la finca, tipos de cultivo, actividad económica y tratamiento que le dan a los desechos sólidos como es el caso de la cáscara de macadamia.

Posterior a ello, se desarrolla la parte del estudio cuantitativo, en el cual se realiza la toma de muestras, se cuantifican las propiedades físico químicas de la biomasa en estudio, para determinar la capacidad de generación de energía eléctrica.

Así también al obtener todos los resultados del estudio cuantitativo se realizará una descripción de todos los resultados obtenidos dando a conocer paso a paso cada una de las etapas, por lo que este estudio será cuantitativo – descriptivo.

9.2. Fases del estudio

9.2.1. Fase 1: investigación bibliográfica

En esta fase se realizará todas las investigaciones bibliográficas y estudios científicos realizados sobre el tema de gasificación, biomasa y generación de electricidad. Se desarrollarán los fundamentos teóricos y conceptuales involucrados en el desarrollo del diseño de investigación.

9.2.2. Fase 2: recolección de datos

- La recolección de datos se realizará por medio de la técnica de muestreo en campo en las diversas áreas de la finca, realizando el conteo de nuez de macadamia por árbol, utilizando la media como medida de tendencia central, plasmando la información en la siguiente tabla:

Tabla I. **Recolección de datos**

Área	Cantidad de árboles	Promedio de macadamias por árbol	Total macadamias por sector
Sector 1			
Sector 2			
Sector 3			
Sector 4			
Sector 5			
Sector 6			

Fuente: elaboración propia.

- La determinación del poder calorífico de la biomasa se obtendrá de los resultados de las muestras de laboratorio. Se realizarán pruebas con biomasa seca y biomasa humedad completando la tabla con el poder calorífico correspondiente.

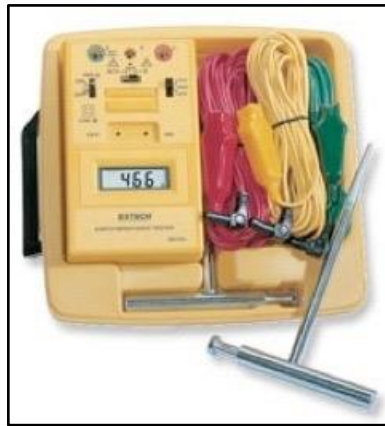
Tabla II. **pruebas con biomasa seca y biomasa humedad**

Número de muestra	Tipo de muestra	Poder Calorífico
Muestra 1	Húmeda	
Muestra 2	Seca	
Muestra 3	Húmeda	
Muestra 4	Seca	
Muestra 5	Húmeda	
Muestra 6	Seca	

Fuente: elaboración propia.

- Se utilizará equipo de medición para determinar la resistividad del suelo y realizar el diseño óptimo de la red de tierra física del sistema de potencia. El equipo a utilizar es una probador de Tierra marca Extech.

Figura 4. **Equipo para medición de resistividad**



Fuente: Extech Instruments

- Se determinarán por métodos teóricos y deductivos los parámetros eléctricos involucrados en el diseño, especificación y operación de equipos a utilizar en el proceso de generación de energía eléctrica.
- Recopilación de presupuestos económicos por parte de empresas comercializadoras de equipos mecánicos, eléctricos y de generación a base de biomasa para el suministro de equipos.

Tabla III. **Recopilación de presupuestos económicos por parte de empresas comercializadoras de equipos mecánicos**

Empresa	Monto cotizado
Empresa 1	
Empresa 2	
Empresa 3	

Fuente: elaboración propia.

- Se obtendrá el precios spot de la energía eléctrica en entidades que regulan el mercado eléctrico como la CNEE.
- Otras mediciones necesarias se realizarán en campo.

9.2.3. Fase 3: análisis de datos

- Determinación cantidad de macadamia

En esta fase se analizarán los datos recolectados previamente iniciando con la estimación de la cantidad de nuez de macadamia en toda la finca, por medio de las medidas de tendencia central más representativas como la media y desviación estándar derivados de los datos obtenidos de la tabla IV.

- Determinación del poder calorífico

La estimación del potencial térmico se realizará con los resultados de las pruebas de laboratorio de las muestras recolectadas, separando las biomásas humedad de las secas.

- Determinador del gas de síntesis

La determinación del gas de combustión para el motor de combustión interna se realizará con las especificaciones del gasificador a utilizar, siendo el de lecho fluidizado el que mejor se adapta nuestra investigación.

- Determinación de potencia eléctrica generada

La capacidad de generación de energía eléctrica se determina por la potencia mecánica suministrada a los generadores síncronos, los cuales están acoplados directamente al motor de combustión interna que le da la energía primaria para la transformación de la energía mecánica – eléctrica, a través del gas de síntesis proveniente del gasificador.

- Diseño red de tierra

El diseño de la red de tierra para salvaguardar la vida del personal y equipos ante una falla eléctrica tendrá como punto de partida los datos recopilados en la medición de la resistividad del suelo de la finca, las impedancias de corto circuitos de los equipos y las técnicas de aterrizaje a utilizar de equipos y estructuras.

- Determinación costos de inversión

Se realizará mediante las propuestas económicas de cada proveedor de equipos y servicios eléctricos, obteniendo una estimación del monto total de la inversión.

- Costo por venta de energía.

Los costos por venta de energía y bonos de carbono serán recolectados en los portales digitales de los entes encargados para la regulación del mercado eléctrico y ventas de carbono.

9.2.4. Fase 4: presentación de resultados y discusión

Se presentarán los datos en esquemas de bloque especificando en cada uno los parámetros o especificaciones técnica con base en resultados obtenidos en los cálculos matemáticos, tanto para la etapa de gasificación como para generación e inyección de energía a la red eléctrica.

Se realizará una evaluación económica básica, por ser un estudio de prefactibilidad determinando si el proyecto es rentable financieramente y viable técnicamente.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para lograr los objetivos del estudio, se plantean diferentes técnicas para el análisis de la información obtenida en campo, entre los que destacan:

10.1. Estadística descriptiva

Para obtener la cantidad total de macadamia o biomasa en la finca es necesario hacer uso de técnicas de sectorización y muestreo, ya que no es posible realizar el conteo unitario de macadamia en cada árbol de la finca.

Se utiliza gráficos de dispersión y se determinan los valores de las principales medidas de tendencia central, media, moda, desviación estándar, entre otros, para validar que nuestra toma de datos es correcta, ya que se encuentra en un rango aceptable.

Para el análisis de los datos obtenidos en el laboratorio que determinaron el poder calorífico de la cáscara de macadamia en condiciones de humedad y secas, se utiliza una tabla de rangos en los cuales se apreciará los valores mínimos y máximos de capacidad térmica que pueden tener las diferentes muestras analizadas.

10.2. Análisis matemático

El mayor desarrollo de la investigación se realizará de métodos teórico – matemático, utilizando los datos obtenidos en la fase de recolección se inicia

con el desarrollo matemáticos para determinar cada una de las fases involucradas en la generación y comercialización de la energía eléctrica.

10.3. Análisis financiero

Utilizando estimaciones a valores actuales de la inversión del proyecto de generación eléctrica en modalidad de Generación Distribuida Renovable, se determinación la factibilidad financiera para implementar proyectos de este tipo.

11. CRONOGRAMA

El desarrollo de la investigación se realizará acorde al siguiente cronograma de actividades.

Figura 5. **Cronograma de actividades**

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PARA EL DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACION																							
	OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE				ENERO			FEBRERO			MARZO				
	SEM_1	SEM_2	SEM_3	SEM_4	SEM_1	SEM_2	SEM_3	SEM_4	SEM_1	SEM_2	SEM_3	SEM_4	SEM_1	SEM_2	SEM_3	SEM_4	SEM_1	SEM_2	SEM_3	SEM_4	SEM_1	SEM_2	
Revisión y corrección de protocolo	■	■	■	■																			
Aprobación de protocolo					■	■																	
Inicio de trabajos de investigación							■	■															
Desarrollo Fase 1:																							
Investigación bibliografica									■	■	■												
Desarrollo Fase 2:																							
Recolección de datos												■	■	■									
Desarrollo Fase 3:																							
Análisis de datos														■	■	■							
Desarrollo Fase 4:																							
Presentación de resultados																		■	■	■	■		
Presentación informe final																						■	■

Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para el estudio se cuenta con los recursos económicos propios necesarios para desarrollar eficientemente cada una de las fases de la investigación, por lo tanto, la investigación es factible de realizar.

Entre los recursos a utilizar son:

- Humanos: Personal disponible en tiempo para realizar la investigación.
- Tecnológicos: Se cuenta con equipo de medición de parámetros eléctricos y de cómputo.
- Información: Existe información bibliográfica física y digital.
- Transporte: Se cuenta con vehículo propio para visitar el lugar de la investigación.
- Recurso económico: Será proporcionado por el investigador con base en el siguiente presupuesto:

Tabla IV. **Presupuesto económico**

PRESUPUESTO		
RECURSO	DESCRIPCIÓN	MONTO
Recurso humano	Honorarios del investigador	Q 5 500,00
Viáticos	Alimentación durante las visitas de campo	Q 1 500,00
Transporte	Consumo de gasolina y depreciación del vehículo.	Q 2 000,00
Equipo de computo	Compra de equipo de computo	Q 4 000,00
Suministro de oficina	Compra de material para oficina	Q 500,00
Pruebas de laboratorio	Prueba de poder calorífico biomasa	Q 2 500,00
Asesoría técnica	Asesor trabajo de investigación	Q 2 ,500,00
Imprevistos	Actividades imprevistas	Q 1 500,00
GRAN TOTAL		Q 20 000,00

Fuente: elaboración propia.

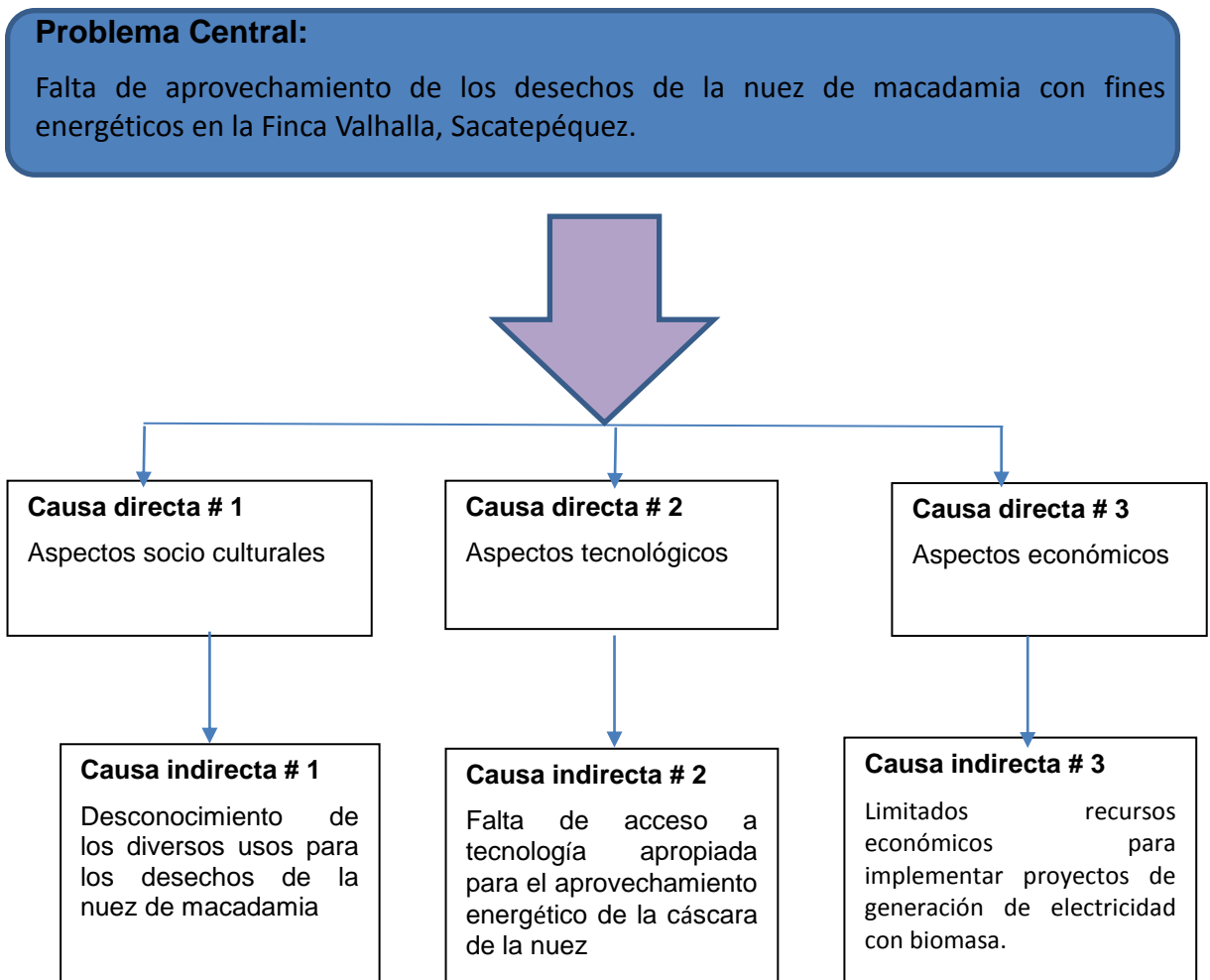
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aller, J. M. (2007). Máquinas eléctricas rotativas: Introducción a la teoría general.
2. Archila Samayoa, S. M. O. (2003). Guía de proceso de exportación de la nuez de macadamia a Estados Unidos.
3. Avín, A.; Lemus, G.; Contreras, M; Negrón, C y Orellana, A. (2001). El cultivo de la macadamia.
4. Castello Belmar, A. M. (2014). Diseño de un reactor continuo de gasificación de biomasa.
5. Chapman Stephen J. Máquinas eléctrica, Tercera edición.
6. Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), Informe estadísticos de calidad, 2014
7. Yepes Maya D. M.; Farid Chejne J. A. (2012). Gasificación de biomasa residual en el sector floricultor, caso: Oriente Antioqueño.
8. Finca Valhalla, consulta en línea (<http://www.exvalhalla.net>)
9. Pozo, L. y Sánchez, A. (2000). Proyecto de producción y exportación de macadamia.

10. RAE, Real Academia de la Lengua Española, <http://dle.rae.es/?id=5YtOE4H>.
11. Regil Wald, J. S. de León (2010). Estudio de prefactibilidad para la producción de energía eléctrica, a partir de biomasa de Eucalipto.
12. Reglamento de la Ley General de Electricidad. (21 de marzo de 1997). Acuerdo Gubernativo Número 256-97. Guatemala, República de Guatemala. 64 p.
13. Secretaria de Energía (2008). Energías renovables 2008 – Energía biomasa.
14. Tirado Jijón, P. A. (2015). Estudio de compactación de la cáscara de la nuez para mejorar la calidad de briquetas de biomasa.
15. Travieso, Tirado y Cala, R. (2007). Perspectivas de la generación de electricidad en Cuba a partir de la gasificación de la biomasa.
16. ANACAFÉ. Cultivo nuez macadamia. Consulta en línea (http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Cultivo_de_nuez_macadamia#Características).

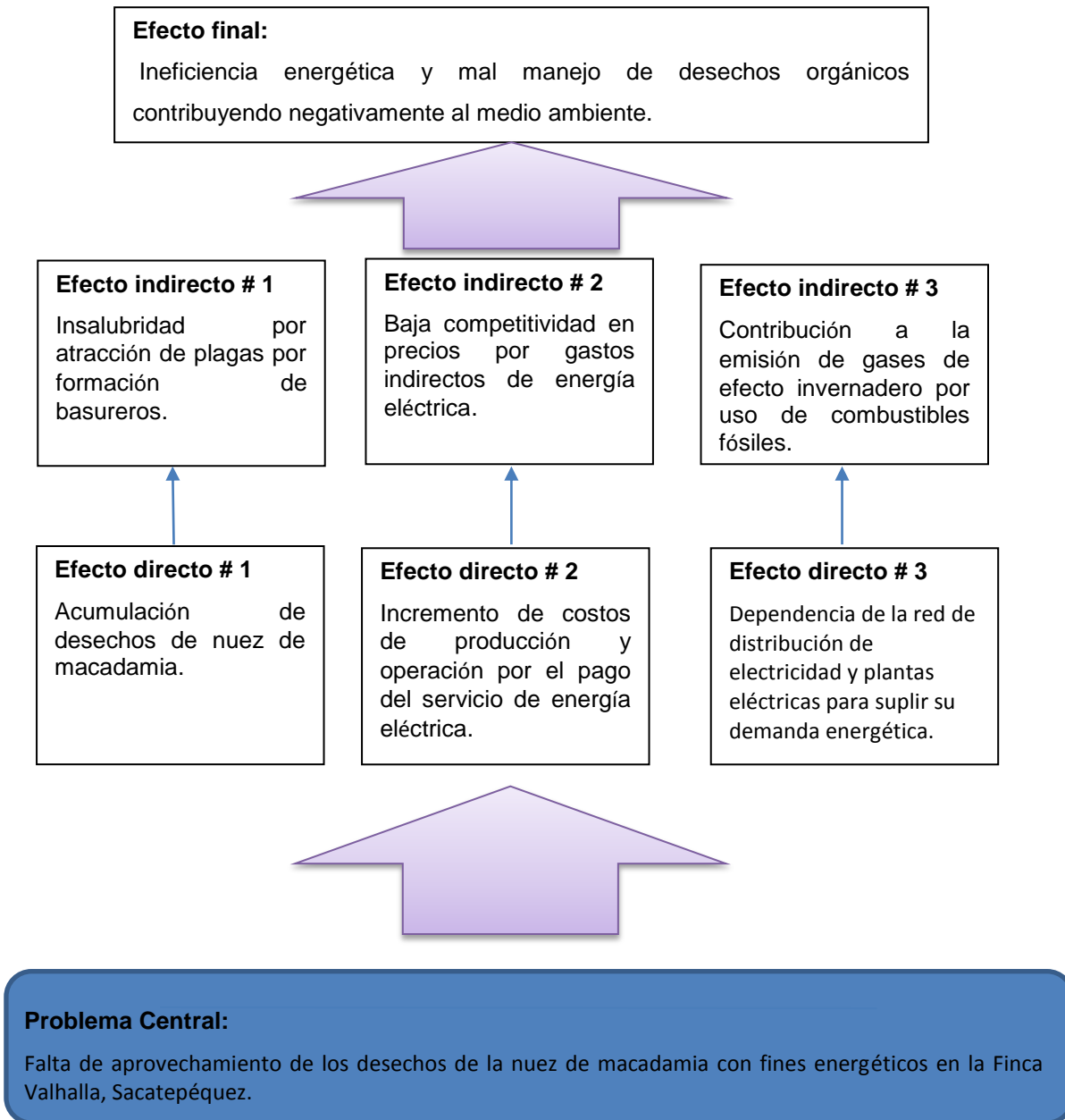
APÉNDICES

Apéndice 1. Árbol de causas



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Árbol de efectos

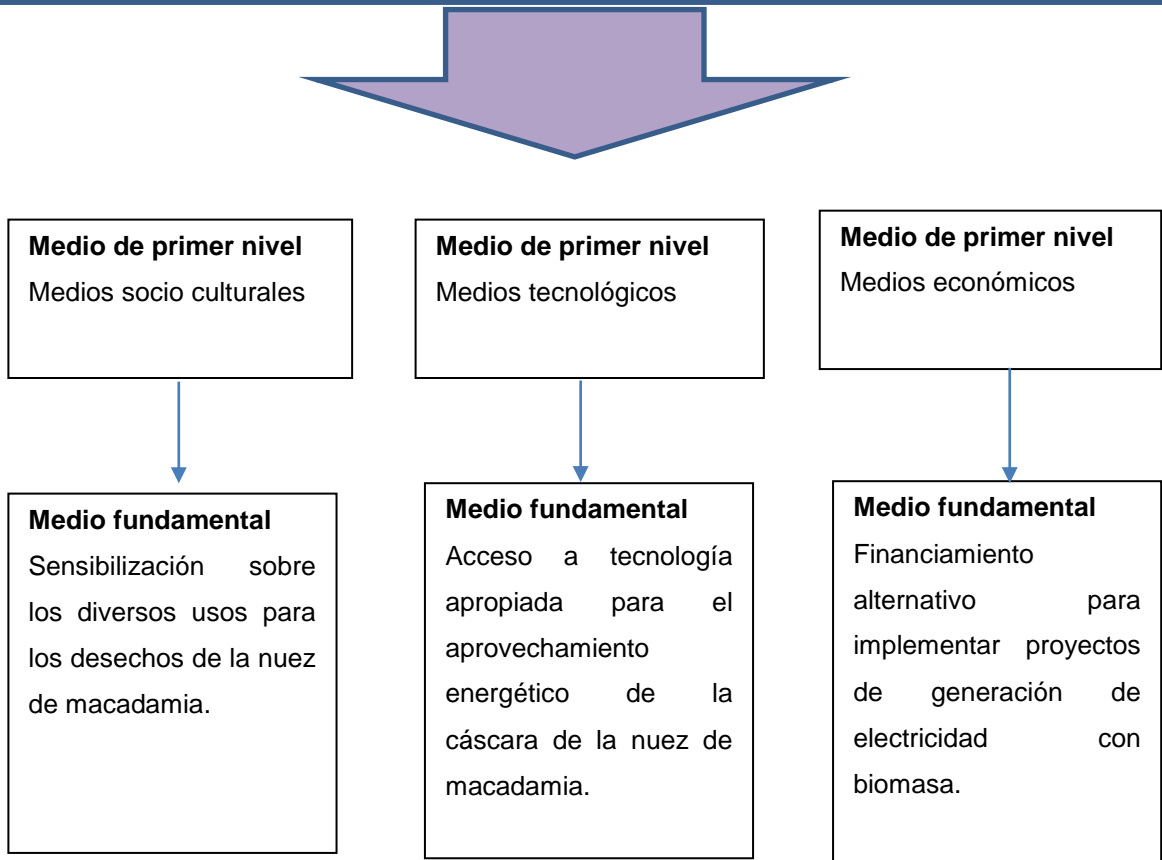


Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Árbol de medios**

Objetivo central:

Determinar la factibilidad técnica y financiera de una planta de gasificación para la producción de energía eléctrica, a través de procesos termoquímicos en la cascará de macadamia en finca Valhalla.



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Árbol de fines**

Fin último:
Realizar un estudio de prefactibilidad para la implementación de una planta de gasificación utilización de la cáscara de macadamia con fines energéticos en Finca Valhalla.



Fin indirecto # 1
Utilización de los desechos de la nuez de macadamia evitando acumulación

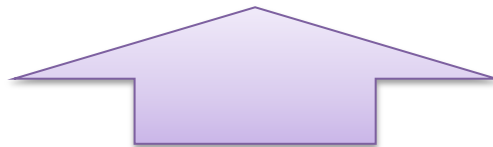
Fin indirecto # 2
Reducción de costos de producción y operación de la empresa por el pago del servicio de energía eléctrica.

Fin indirecto # 3
Independencia a la red del sistema eléctrico y/o plantas eléctricas de emergencia para suplir la demanda energética

Fin Directo # 1
Fines ambientales

Fin Directo # 2
Fines económicos

Fin Directo # 3
Fin sobre seguridad energética



Objetivo central:

Determinar la factibilidad técnica y financiera de una planta de gasificación para la producción de energía eléctrica a través de procesos termoquímicos en la cascará de macadamia en Finca Valhalla.

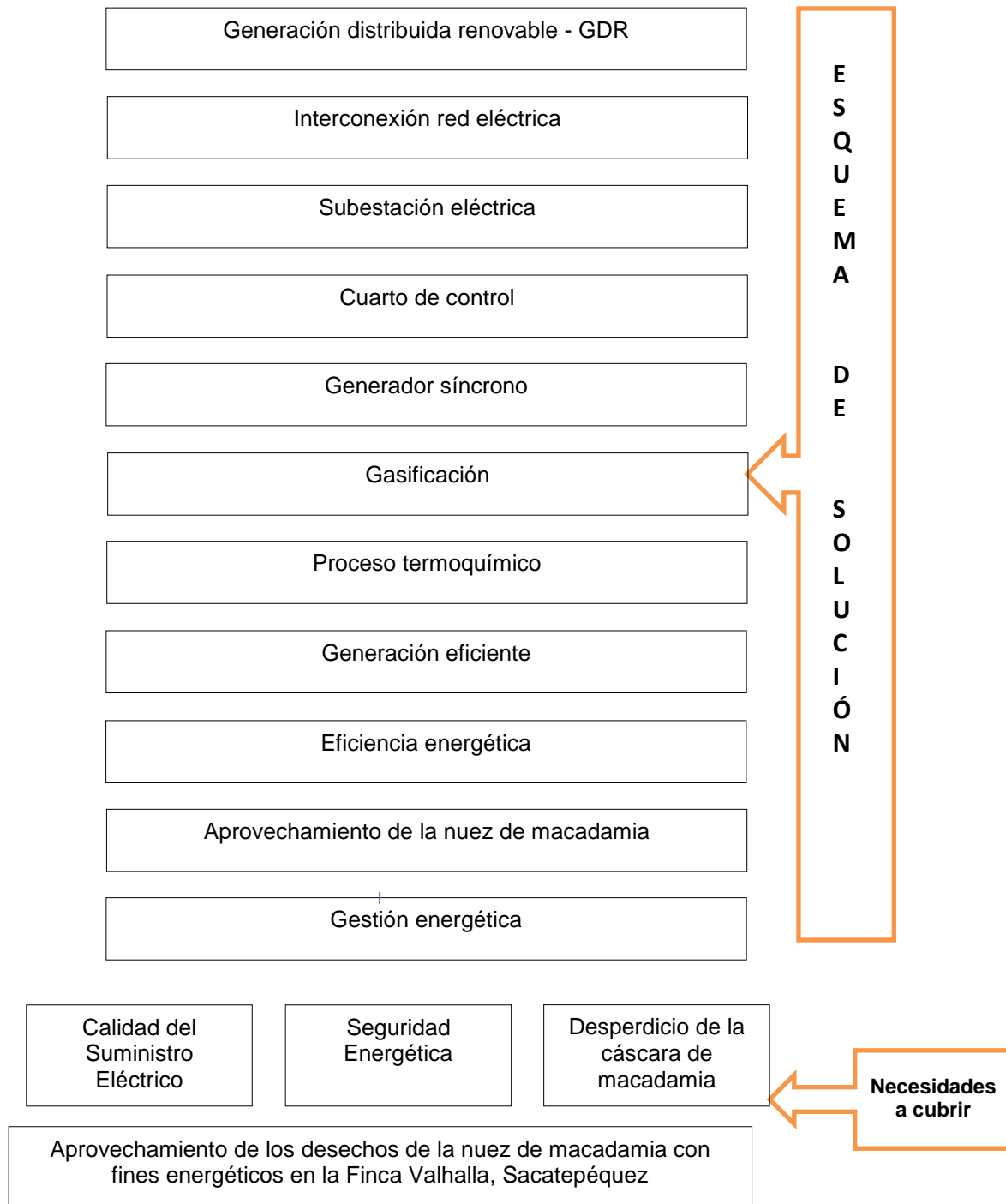
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Matriz de coherencia

	PREGUNTA	OBJETIVO
Central	¿Qué alternativas de proyectos son viables técnica y financieramente para ser uso de biomasas con fines energéticos en la finca Valhalla, Sacatepéquez?	Determinar la factibilidad técnica y financiera de una planta de gasificación para la producción de energía eléctrica, a través de procesos termoquímicos en la cascará de macadamia en finca Valhalla.
1	¿Qué potencial energético se puede obtener con el uso de la cáscara de la nuez de macadamia como fuente alternativa de biomasa?	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar el potencial energético de la cáscara de la nuez de macadamia.
2	¿Qué proyectos se pueden implementar técnicamente en la Finca Valhalla para la gestión y uso eficiente de la cáscara de la nuez de macadamia?	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar técnicamente el uso alternativo de la cáscara de la nuez de macadamia con fines energéticos.
3	¿Cuál es la viabilidad financiera para la implementación de proyectos de Generación Distribuida Renovable (GDR) en finca Valhalla?	<ul style="list-style-type: none"> • Calcular la viabilidad financiera para la implementación de la cáscara de macadamia para la generación de energía eléctrica como GDR
4	¿Cuáles son los beneficios ambientales asociados con la reducción del consumo energético en la finca Valhalla?	<ul style="list-style-type: none"> • Describir los beneficios ambientales asociados a la reducción del uso energético en la finca Valhalla, Sacatepéquez.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Necesidades a cubrir y esquema de solución



Fuente: elaboración propia.