



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS TÉCNICO FINANCIERO DE UNA MÁQUINA  
PARA LA FABRICACIÓN DE COMPRIMIDOS DE MADERA ARTESANALES A PARTIR DE  
RESIDUOS DE PINO EN SAN JUAN SACATÉPEQUEZ**

**Roger Sadhu Jeshua Rodríguez López**  
Asesorado por el MSc. Ing. Fulgencio Garavito

Guatemala, agosto de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS TÉCNICO FINANCIERO DE UNA MÁQUINA  
PARA LA FABRICACIÓN DE COMPRIMIDOS DE MADERA ARTESANALES A PARTIR DE  
RESIDUOS DE PINO EN SAN JUAN SACATÉPEQUEZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**ROGER SADHU JESHUA RODRÍGUEZ LÓPEZ**  
ASESORADO POR EL MSC. ING. FULGENCIO GARAVITO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, AGOSTO 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. Roberto Guzmán Ortíz
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Coronado Noj
EXAMINADOR	Ing. Elvis José Álvarez Valdéz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS TÉCNICO FINANCIERO DE UNA MÁQUINA PARA LA FABRICACIÓN DE COMPRIMIDOS DE MADERA ARTESANALES A PARTIR DE RESIDUOS DE PINO EN SAN JUAN SACATÉPEQUEZ**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 19 de noviembre de 2016.

**Roger Sadhu Jeshua Rodríguez López**





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

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



ADSE-MEAPP-027-2015

Guatemala, 19 de noviembre de 2016.

Director  
Roberto Guzmán Ortiz  
Escuela de **Ingeniería Mecánica**  
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 **Roger Sadhu Jeshua Rodríguez López** carné número **200516214**, 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,

*"Id y Enseñad a Todos"*

*Fulgencio Garavito*

MSc. Ing. Fulgencio de Jesús Garavito Quiñonez  
Asesor (a)



*Juan Carlos Fuentes M.*  
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

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



Cc: archivo  
/la





**USAC**

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

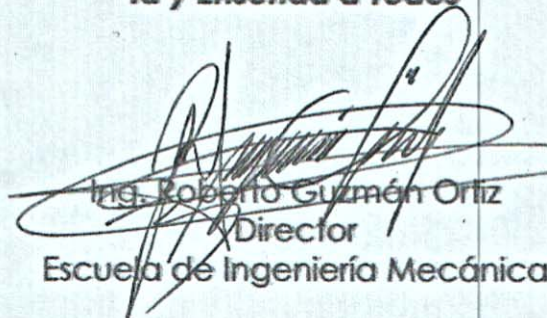
Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.216.2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación de la Coordinadora del Área de Gestión y Servicios de la Escuela de Estudios de Postgrado, modalidad Pregrado-Postgrado de la Maestría de Energía y Ambiente, del trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS TÉCNICO FINANCIERO DE UNA MÁQUINA PARA LA FABRICACIÓN DE COMPRIMIDOS DE MADERA ARTESANALES A PARTIR DE RESIDUOS DE PINO EN SAN JUAN SACATEPÉQUEZ** del estudiante **Roger Sadhu Jeshua Rodríguez López**, CUI **2389408610101**, Registro Académico No. **200516214** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Ing. Roberto Guzmán Ortiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, agosto de 2017

/aej



Universidad de San Carlos  
de Guatemala

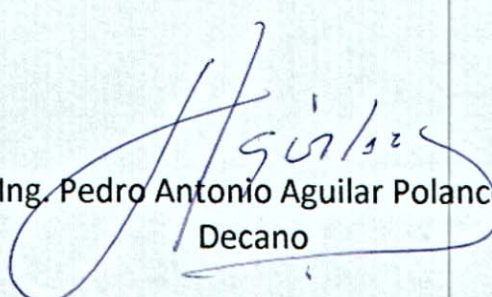


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 349.2017

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, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS TÉCNICO FINANCIERO DE UNA MÁQUINA PARA LA FABRICACIÓN DE COMPRIMIDOS DE MADERA ARTESANALES A PARTIR DE RESIDUOS DE PINO EN SAN JUAN SACATEPÉQUEZ**, presentado por el estudiante universitario: **Roger Sadhu Jeshua Rodríguez López**, 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, agosto de 2017

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por darme la vida, y todas las virtudes necesarias para alcanzar las metas que me he propuesto en la vida.
- Mi esposa** Por su apoyo y cariño tanto en el aspecto personal como el profesional, TE AMO.
- Mis padres** Alfredo Rodriguez, por apoyarme siempre, poner mis necesidades antes que las de él, y Beverly López, por estar siempre pendiente de mí a pesar de las distancias.
- Mis hermanos** Rynnye, Sergio, Beverly y Luis Fernando, por estar conmigo y darme su apoyo en todos los momentos de mi vida.
- Mi familia** Mis abuelos, tíos, tías, primos, primas, mis suegros, cuñados y familiares que fueron parte de mi formación académica, por mostrarme siempre su cariño y apoyo.



**Mis amigos**

Carlos, Rodrigo, Jessi, Esteban, Xris, Godoy, Oswaldo, Ángela, Guerra, William, Josué, Mauricio, Sergio, David, Rolando, Georges, Debora, Motta, Joaquin, Miguel, Ulices, por apoyarme en cada etapa de las que han sido parte.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por darme la vida y las fuerzas para sobreponerme a todas las pruebas que Él me da.
<b>Mi esposa</b>	Por apoyarme todo momento y ayudarme a ser una mejor persona.
<b>Mis padres y hermanos</b>	Por ser un gran ejemplo a seguir y estar conmigo en los momentos buenos y malos de mi vida
<b>Mi familia</b>	Por apoyarme en todo sentido y estar siempre para mí.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por darme el privilegio de formarme como profesional y culminar mis estudios.
<b>Facultad de ingeniería</b>	Por formarme académicamente en una carrera profesional.
<b>Mi asesor Ing.</b>	Fulgencio Garavito, por brindarme sus conocimientos y su tiempo al asesorar este trabajo.

**Mis amigos**

Gracias, por haberme brindado los momentos más alegres en la carrera universitaria y su apoyo para que todos termináramos nuestras carreras de Ingeniería.



## 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. Uso de leña en hogares de San Juan Sacatepéquez.....	7
3.1.2. Contaminación dentro de los hogares .....	8
3.1.3. Uso de la leña en la pequeña industria de San Juan Sacatepéquez .....	9
3.1.4. Costo de la fabricación de comprimidos de madera como alternativa al uso de leña.....	10
3.2. Delimitación geográfica .....	12
3.3. Delimitación tecnológica y sectorial .....	12
3.3.1. Preguntas de investigación .....	13
3.3.1.1. Pregunta central.....	13
3.3.1.2. Preguntas auxiliares.....	13
4. JUSTIFICACIÓN .....	15
5. OBJETIVOS .....	17
5.1. General.....	17

5.2.	Específicos.....	17
6.	DIAGRAMA DE SOLUCIÓN .....	19
7.	ALCANCES .....	21
8.	MARCO TEÓRICO .....	23
8.1.	Dendroenergía .....	23
8.2.	Bosque.....	23
8.2.1.	Bosque húmedo montano bajo .....	23
8.2.2.	Bosque húmedo subtropical .....	24
8.2.3.	Bosque seco subtropical.....	24
8.3.	Madera.....	24
8.4.	Biomasa.....	25
8.4.1.	Leña .....	25
8.5.	Densificación.....	25
8.5.1.	Pellet .....	26
8.5.2.	Briqueta.....	27
8.6.	Pelletizadora .....	29
8.6.1.	Sistemas de anillo plano ( <i>Flat Type Die</i> ) .....	29
8.6.2.	Sistema de anillo cilíndrico ( <i>Ring Type Die</i> ).....	30
8.7.	Briquetadora .....	31
8.7.1.	Conformación por ruedas formadoras .....	32
8.7.2.	Extrusión a pistón .....	33
8.7.3.	Extrusión a tornillo .....	34
8.7.4.	Compresión manual .....	35
8.8.	Poder calorífico .....	36
8.9.	Humo .....	36
8.10.	Ceniza.....	37

8.11.	Hollín .....	37
9.	ÍNDICE PROPUESTO DE CONTENIDO.....	39
10.	METODOLOGÍA .....	43
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....	45
12.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	47
13.	RECURSOS NECESARIOS.....	49
13.1.	Recursos humanos.....	49
13.2.	Recursos materiales .....	49
13.3.	Recursos físicos .....	49
13.4.	Recursos tecnológicos.....	50
13.5.	Recursos financieros .....	50
14.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	53





## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Forma de abastecimiento de leña en los hogares del municipio de San Juan Sacatepéquez. ....	8
2.	Tipo de fogón utilizado en los hogares del municipio de San Juan Sacatepéquez.....	9
3.	Árbol del problema, análisis de causas y efectos .....	11
4.	Esquema de solución .....	19
5.	Pellets .....	27
6.	Briquetas .....	28
7.	Pelletizadora de anillo plano.....	30
8.	Corte de los pellets.....	30
9.	Pelletizadora de anillo cilíndrico .....	31
10.	Conformación por ruedas formadoras .....	32
11.	Briquetadora de pistón hidráulico .....	33
12.	Briquetadora de pistón mecánico .....	34
13.	Briquetadora de tornillo .....	34
14.	Briquetadora manual de palanca.....	35
15.	Briquetadora manual con gato hidráulico .....	36
16.	Matriz de coherencia .....	51

### TABLAS

I.	Poder calorífico de las dos especies de árboles más utilizadas en San Juan Sacatepéquez .....	25
----	---	----

II.	Recursos financieros .....	50
-----	----------------------------	----



# 1. INTRODUCCIÓN

La dependencia de recursos naturales se ha vuelto uno de los mayores problemas de la población mundial en la actualidad, ya que los recursos naturales no son infinitos y no se hace uso eficiente de los mismos. La energía que producen los recursos naturales como la leña, provocan un aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que también aportan al calentamiento global.

La leña es el recurso más utilizado en el área rural de Guatemala. En el municipio de San Juan Sacatepéquez, el 99 % de la población rural utiliza leña como principal fuente de energía (IARNA, 2009), su principal uso es la cocción de alimentos.

El mal uso de la leña en los hogares produce problemas respiratorios, una deforestación innecesaria, cambios en la biodiversidad, entre otros; pero aún con estos problemas la población prefiere el uso de la leña porque tiene un costo bajo, es de fácil acceso y no existen alternativas inmediatas para su uso.

Por la problemática existente a nivel mundial y nacional, la Escuela de Estudios de Postgrados de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ha integrado la línea de investigación de eficiencia energética en el programa de Maestría en Energía y Ambiente, denominada, "Gestión y uso eficiente de la leña en Guatemala", con la finalidad de buscar y encontrar soluciones al alto consumo de leña en Guatemala, al integrar tecnologías más eficientes.

Los comprimidos de madera son una opción tecnológica que ayudarían a minimizar el consumo de leña en la región, ya que contienen un mayor poder calorífico, menor humedad y son menos contaminantes que la leña; adicional a eso son más fáciles de almacenar, transportar y comercializar.

Los dos tipos de comprimidos de madera o biomasa más utilizados son los pellets y las briquetas, la diferencia en estos son los tamaños, la empresa “Factor Verde” ubicada en España fabrica pellets con un diámetro de 6 mm y una longitud no mayor a 40 mm y en el caso de las briquetas, su diámetro puede ser mayor a los 3,5 cm y su longitud es variable dependiendo el fabricante, desde 10 a 30 centímetros.

En la investigación se describirán varios tipos de máquinas elaboradoras de comprimidos de madera, de las cuales se fabricará una. Con dicha máquina se elaborarán briquetas artesanales de los residuos madereros de la región de San Juan Sacatepéquez.

A partir de la fabricación de las briquetas se realizará el estudio para conocer el poder calorífico, humos y residuos de cenizas y así comparar su uso con la leña y el costo de la misma.

En el capítulo de requerimientos técnicos, se observará qué materiales necesitamos y el personal necesarios para la fabricación de la máquina. Esta información será complementada en el capítulo 4, donde se ve la propuesta de diseño, y donde se incluirán costos para la elaboración más viable de la máquina.

## 2. ANTECEDENTES

Los pellets y las briquetas, al ser comprimidos de madera y biomasa, pueden ser fabricados de cualquier material, teniendo propiedades diferentes de humedad, poder calorífico y residuos de cenizas. En la Universidad de Talca, Chile, se realizó un estudio de pellets fabricados con carbonilla (carbón vegetal pequeño) y pino; en su estudio se efectuaron pruebas de poder calorífico con diferentes combinaciones, el mejor resultado se obtuvo al combinar 50 % de aserrín de pino y 50 % de carbonilla. Este pellet dio un resultado de 5381,2 kcal/kg contra 4098,6 kcal/kg de un pellet hecho únicamente con aserrín de pino (Soto & Núñez, 2008).

El estudio de Soto & Núñez (2008) muestra que las combinaciones para obtener un mejor pellet son aceptables, pero en este estudio solo se obtiene el poder calorífico y no los residuos de cenizas que dejan los pellets, por lo que pueden ser beneficiosos en un sentido y dañinos en otro; también los resultados pueden variar por el tipo de pino de cada área. En el estudio de la universidad de Talca se utilizó *Pinus Radiata*, el pino que se estudiara en San Juan Sacatepéquez será el *Pinus Maximinoi*.

En Ecuador, en el año 2014, se realizó un estudio del análisis térmico del aserrín de madera de eucalipto. Dicho estudio lo realizó el Ingeniero Alex Portero y en su estudio demuestra que al producir los pellets con un cilindro caliente, se obtiene una menor cantidad de humedad y una mayor densidad para los mismos. En su estudio no presenta una comparación de poder calorífico, ya que no se tenía el equipo de laboratorio adecuado para dicha prueba.

Portero (2014) concluye que una combinación de 60 % de eucalipto y 40 % de copal (resina aromática que produce el árbol de copal o *Bursera*) aumenta el índice de friabilidad FR, el cual es la resistencia que tienen los pellets al manejo externo, como transporte y almacenaje (Portero, 2014).

En el estudio del ingeniero Portero se realiza una prueba de laboratorio que no se había tomado en cuenta, el cual es el índice de friabilidad, ya que los pellets tienen que tener una resistencia para no perder su forma original o destruirse. El obtuvo mejores resultados utilizando su molde para pellets a 105 grados centígrados.

Los estudiantes de Ingeniería del año 2007 de la Universidad EAFIT en Colombia, realizaron 3 propuestas de máquinas pelletizadoras para plástico, en las cuales muestran la adición de calor como un punto importante en la mejora de sus máquinas. Es un punto importante a tomar en cuenta en este estudio, ya que los pellets de madera tienen que estar secos para poder ser utilizados de manera correcta, evitando la contaminación por humos y obteniendo un mejor poder calorífico, por lo que se le puede añadir resistencias al contra molde para subir su temperatura y así obtener pellets de mejor calidad.

En Veracruz, México, el Ingeniero Tauro (2013) en su tesis muestra la factibilidad técnica-económica para la fabricación de los pellets. En él realizó su estudio en la región de UMAFOR de Perote y UMAFOR de Huayacocotla; el primero por generar más residuos de origen forestal y el otro por tener el costo más bajo de venta de residuos forestales (Tauro, 2013).

San Juan Sacatepéquez es un municipio altamente forestal, donde no se aprovechan los residuos de esta industria. La madera más utilizada es el pino,

por lo que se puede obtener la materia prima para la fabricación de los comprimidos a un muy bajo costo.

Las máquinas pelletizadoras más comunes funcionan por compresión, la misma se genera con 2 o más rodos, un colador donde se comprime el material y, cuando va saliendo una cuchilla, lo corta; todo va unido por un eje que obtiene su movimiento por medio de un motor eléctrico. En la tesis de licenciatura sobre residuos madereros (Arpi & Calderón, 2010), describen paso a paso cómo fabricar una máquina pelletizadora de este tipo. Dicho estudio fue realizado en Cuenca-Ecuador.

La tecnología utilizada en las máquinas briquetadoras se divide en cuatro grupos, conformación por ruedas formadoras, extrusión a tornillo, extrusión a pistón y compresión manual (Informe Pellets 2011, Argentina, sin autor, p10).

La máquina que se fabricará funcionará por extrusión a tornillo, en la cual se comprimirá el aserrín de pino por medio del tornillo sin fin y un cambio de diámetros en la tubería; se agregará una resistencia en un segmento del tubo de compresión, para aumentar la temperatura y crear un cambio térmico en la briqueta que aumente su dureza.





### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **3.1. Descripción del problema**

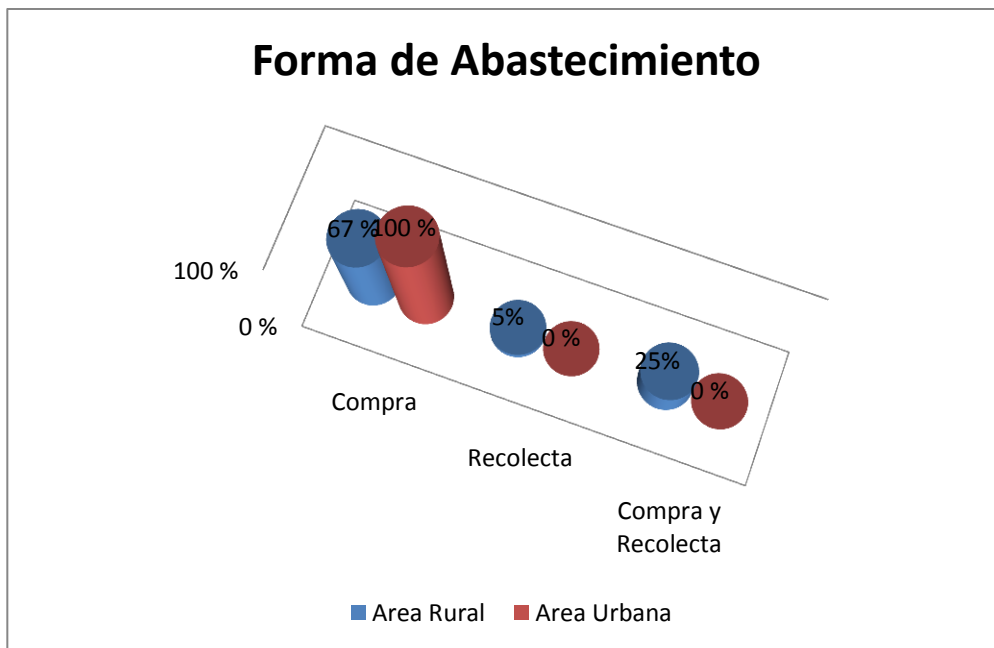
##### **3.1.1. Uso de leña en hogares de San Juan Sacatepéquez**

El municipio de San Juan Sacatepéquez tiene una población aproximada de 152 583 habitantes, donde el 34,6 % de su población es considerada del área urbana y 65,4 % del área rural, según los datos otorgados por el Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA).

En el área rural, de acuerdo con las muestras tomadas por el IARNA, el 99 % de los entrevistados usan leña como un producto energético. En el área urbana se ha sustituido gran parte del uso de la leña por uso de gas propano, dando un 68 % de la población que utiliza leña y gas propano y un 10 % que utiliza carbón. La leña es proveniente, en su mayoría, de terrenos y bosques propios en un 37 % y 32 % respectivamente y 31 % del astillero municipal, de lo cual, la rama seca es lo que más se aprovecha con un 56 % (IARNA, 2009).

La forma de abastecimiento en su mayoría es por compra de leña, seguido por la recolecta, como se muestra en la figura 1.

Figura 1. **Forma de abastecimiento de leña en los hogares del municipio de San Juan Sacatepéquez.**



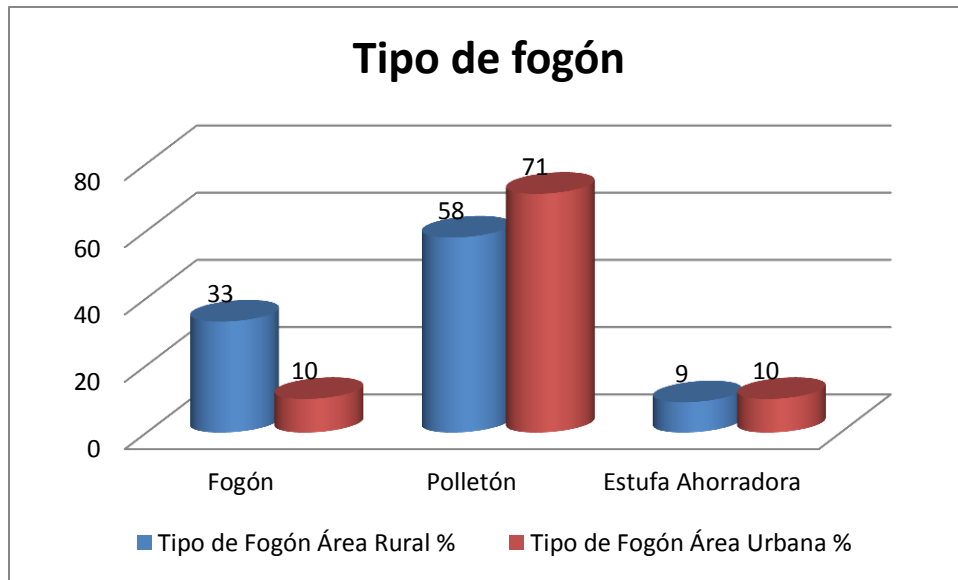
Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos del IARNA.

### 3.1.2. Contaminación dentro de los hogares

En el municipio de San Juan Sacatepéquez, en lo que a salud se refiere, las principales causas de mortalidad infantil son neumonías, bronconeumonías y septicemia no especificada.

La alta tasa de mortalidad por causas respiratorias es debido a la exposición a la contaminación dentro de los hogares, causada por la quema de leña en fogones sin una apropiada ventilación.

Figura 2. **Tipo de fogón utilizado en los hogares del municipio de San Juan Sacatepéquez**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos del IARNA.

### 3.1.3. **Uso de la leña en la pequeña industria de San Juan Sacatepéquez**

La pequeña industria en el municipio de San Juan Sacatepéquez está dividida en tres áreas: las panaderías, las tortillerías y los restaurantes. El uso de leña en la pequeña industria es de un 32 % y el 68 % restante utiliza gas propano. El abastecimiento de estas pequeñas industrias es en su totalidad, comprado. Un 60 % en depósitos y un 40 % a los vendedores ambulantes, según indican los datos del IARNA.

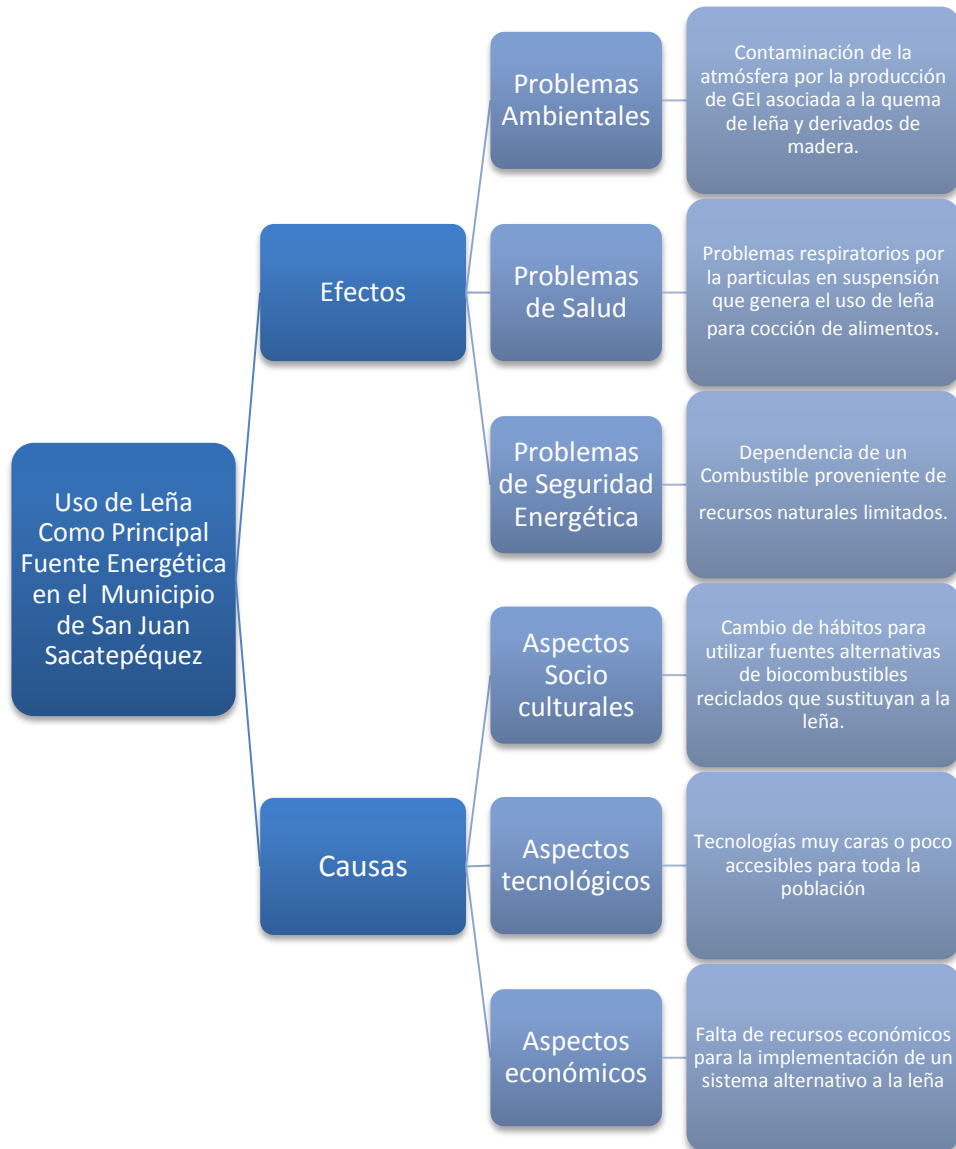
El costo promedio del m<sup>3</sup> de leña es de Q. 248,72 y se utilizan en promedio, 220,06 m<sup>3</sup>/año, lo que da un total de Q. 54 733,33 utilizados en la compra de madera, al año.

#### **3.1.4. Costo de la fabricación de comprimidos de madera como alternativa al uso de leña**

El costo de fabricación de un comprimido de madera es más alto que el precio de la leña; adicional a esto, en el área rural de San Juan Sacatepéquez, la mayor parte de la leña se recolecta, por lo que no tiene precio alguno.

Aunque está demostrado que los pellets y briquetas tienen mejor poder calorífico que la leña y que son menos contaminantes, se tiene el problema del costo del mismo y la aceptación por razones culturales.

Figura 3. **Árbol del problema, análisis de causas y efectos**



Fuente: elaboración propia.

### **3.2. Delimitación geográfica**

El municipio donde se realizará el estudio es San Juan Sacatepéquez, este está ubicado en la parte noroeste del departamento de Guatemala, su extensión territorial es de 287 km<sup>2</sup>, su clima por lo general es frío. El uso de la tierra está dividido por 8 869 ha de cultivos, 11 595 ha lo ocupan los arbustos y matorrales y 5 592 ha por los bosques naturales (MAGA, 2003).

Su población aproximada es de 152 583 habitantes, de los cuales 99 853 son indígenas y 52 730 son no indígenas. El idioma más utilizado es el Cakchiquel, seguido del Español (IARNA, 2009).

Las maderas más utilizadas en el municipio de San Juan Sacatepéquez son: encino, pino, ilamo, ciprés. La quema de leña carece de control y, por lo general, se realiza en áreas cerradas con generación de humos con alto contenido de CO<sub>2</sub>, el cual representa un riesgo para la salud causando enfermedades respiratorias a los seres humanos.

### **3.3. Delimitación tecnológica y sectorial**

El trabajo se realizará en el área rural, la cual representa el 65,4 % del municipio y la cual, además, no tiene tecnología para la fabricación de comprimidos de madera u otra alternativa energética que sustituya a la leña.

La investigación tendrá como aporte tecnológico y fin primordial, la fabricación de la máquina briquetadora para el municipio de San Juan Sacatepéquez.



### **3.3.1. Preguntas de investigación**

#### **3.3.1.1. Pregunta central**

¿Es factible la fabricación de una máquina elaboradora de briquetas para disminuir el consumo de leña como principal fuente energética en el municipio de San Juan Sacatepéquez?

#### **3.3.1.2. Preguntas auxiliares**

- ¿Cuál sería el costo que tendría la fabricación de una máquina para briquetas con base de residuos de madera?
- ¿Qué material tiene mayor poder calorífico, las briquetas derivadas de pino o la leña derivada del pino?
- ¿Cuáles son los niveles de contaminación que genera la leña y una briqueta fabricada de derivados de pino?
- ¿Cuál sería el costo de producción de briquetas derivadas de madera y biomasa y qué ventajas tecnológicas poseen?



## 4. JUSTIFICACIÓN

Los datos obtenidos por el IARNA indican que en San Juan Sacatepéquez la cobertura forestal es de 15 458 ha, que es el 57 % del área del municipio (IARNA, 2009) y se tiene una pérdida neta de 60 ha por año para el periodo de análisis (1991-2001); la leña es la principal fuente energética en los hogares de San Juan Sacatepéquez, su mayor uso es para la cocción de alimentos y se utiliza de forma inadecuada, por esta razón se tiene que buscar un sustituto de la leña que sea más eficiente y que ayude a disminuir la deforestación en este municipio.

Al realizar el estudio de las briquetas de madera vs la leña, se espera obtener un mayor poder energético por parte de las briquetas, al igual que una menor emisión de gases de efecto invernadero; aportar para la disminución de los problemas de salud de las personas de San Juan Sacatepéquez con sus problemas respiratorios derivados de cocinar con leña y evitar la deforestación.

Se fabricará una máquina para producir las briquetas derivadas de pino, las cuales serán posteriormente analizadas en varios aspectos para comprobar si su utilización es factible en el municipio de San Juan Sacatepéquez.

Con esta investigación y experimentación se beneficiarán los habitantes de San Juan Sacatepéquez inicialmente y luego a más municipios y departamentos del país, brindándoles un biocombustible más eficiente y menos contaminante, para su uso diario.

El desarrollo de la investigación contribuirá a la línea de investigación “Gestión y uso eficiente de la leña en Guatemala”, del Programa de maestría en Energía y Ambiente, enfocándose al área de San Juan Sacatepéquez.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Fabricar una máquina briquetadora de bajo costo, para producir comprimidos derivados de la madera de pino y para reducir el consumo de leña en San Juan Sacatepéquez.

### **5.2. Específicos**

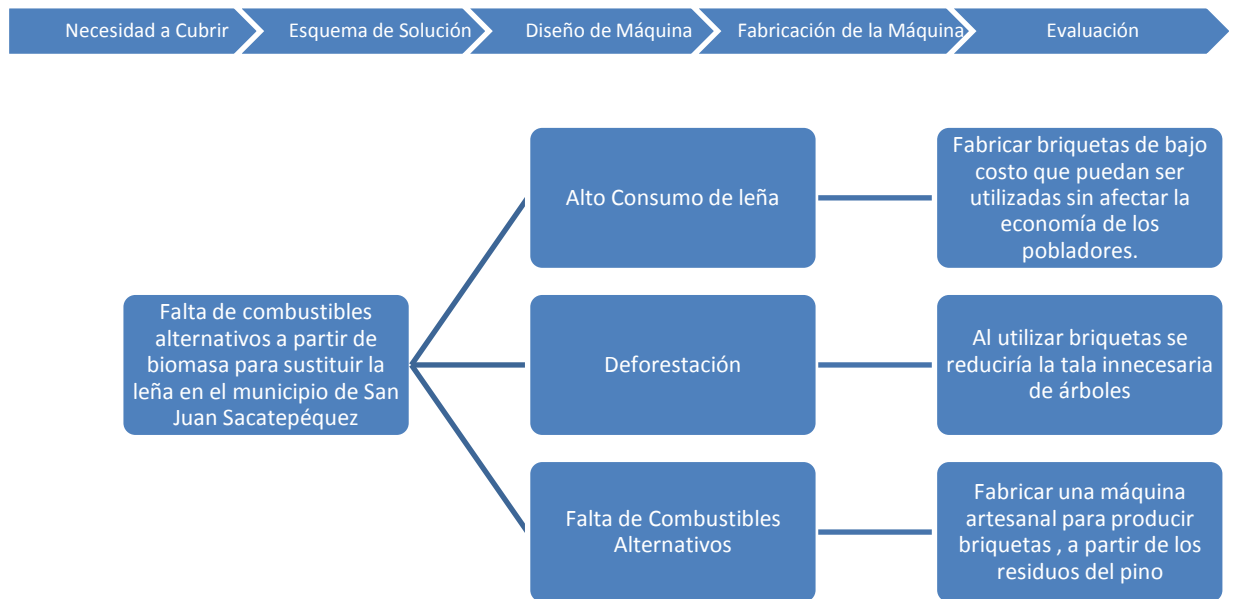
1. Determinar el costo necesario para la fabricación de una máquina briquetadora artesanal para la producción de comprimidos de madera.
2. Evaluar el potencial energético de las briquetas fabricadas con madera de pino como sustituto de la leña, en el departamento de San Juan Sacatepéquez.
3. Realizar estudio de residuos de cenizas, hollín y humos que determinen que las briquetas son menos contaminantes que la leña.
4. Comprobar las ventajas tecnológicas del uso de briquetas, en relación al uso de la leña.





## 6. DIAGRAMA DE SOLUCIÓN

Figura 4. Esquema de solución



Fuente: elaboración propia.

El proceso para la fabricación de la máquina, iniciará con el diseño en base a las tecnologías utilizadas en otros países. Los materiales de manufactura local, el costo de los materiales y de la mano de obra, al tener los costos y el capital se iniciará el proceso de fabricación; se utilizarán materiales fáciles de encontrar. La mayor parte de la manufactura será realizada por medios personales y subcontratos cuando se trate de equipo especializado. Al tener la máquina se realizará la fabricación de briquetas, luego se realizarán pruebas de poder calorífico, residuo de cenizas y humos, para ver su superioridad ante la leña convencional.



## **7. ALCANCES**

Para la realización de este diseño, se pondrá en marcha una investigación experimental, basada en los datos cuantitativos obtenidos en los resultados de los estudios de cenizas, humos y poder calorífico obtenidos en un laboratorio, tanto de la leña como de los comprimidos fabricados con residuos de pino, para obtener una tabla comparativa y ver cuál es la mejor opción de combustible.

En el área técnica se fabricará una máquina para la elaboración de briquetas, las cuales se podrán obtener de cualquier biomasa, aunque en este estudio solo nos enfocaremos al estudio de las briquetas de residuos de madera de pino.

Para el estudio se aplicarán los conocimientos profesionales obtenidos en las carreras de Ingeniería Mecánica y en la Maestría de Energía y Ambiente. El objetivo es contribuir a futuras investigaciones sobre el tema de pellets y briquetas como combustible sustituto de la leña, en el departamento de San Juan Sacatepéquez y, en un futuro, en el resto del país de Guatemala.



## **8. MARCO TEÓRICO**

### **8.1. Dendroenergía**

La Dendroenergía o también llamada energía déndrica, hace referencia a los combustibles que se obtienen por la explotación forestal y sus derivados. Este tipo de energía ha sido utilizada por el hombre desde que se descubrió el fuego.

### **8.2. Bosque**

Se define como bosque a un poblado por arbustos y árboles. En general, se trata de un área que contiene una importante densidad de árboles. Los bosques jóvenes, absorben dióxido de carbono, conservan el suelo y regulan los flujos del sector.

En el departamento de San Juan Sacatepéquez se encuentran tres tipos de bosques, los cuales son:

#### **8.2.1. Bosque húmedo montano bajo**

Su abreviatura es Bh-MB, sus características son: precipitaciones de 1 200,00 mm, una temperatura entre 15 y 23 grados centígrados, su área en hectáreas es de 9 368,00 que equivale a un 34 % en dicho municipio. En este bosque encontramos las siguientes especies de árboles: Quercus Spp, Pinus Pseudostrobus y Alnus Jurulensis. (IARNA, 2009)

### **8.2.2. Bosque húmedo subtropical**

Su abreviatura es, Bh-S (t). En este tipo de bosques encontramos precipitaciones de 1 000 mm, temperaturas en un rango de 20 a 26 grados centígrados, este tipo de bosque constituye un total de 15 023,00 hectáreas, las cuales conforman un 55 % del total boscoso y cuenta con una vegetación constituida por *Pinus Oocarpa*, *Quercus Spp* y *Byrsonima Crassifolia*. (IARNA, 2009)

### **8.2.3. Bosque seco subtropical**

Su abreviatura es Bs-S. En este tipo de bosque encontramos precipitaciones cercanas a los 1 200 mm, con una temperatura entre 19 y 24 grados centígrados. Encontramos una vegetación natural conformada por *Leucaena Guatemalensis*, *Sabal Mexicana* y *Ceiba Aescutifolia*. Este bosque solo ocupa un área de 2 898,00 hectáreas equivalentes a un 11 % del total. (IARNA, 2009)

## **8.3. Madera**

Materia prima de origen vegetal; se encuentra bajo la corteza de los tallos leñosos de árboles y arbustos, la mejor madera se obtiene del tronco. La madera tiene una composición química basada en carbono (50 %), oxígeno (40 %), hidrogeno (6 %) y un 10 % de otros elementos. Su composición molecular contiene celulosa (50 %), lignina (25 %) y hemicelulosa (20 %).

Las variedades de madera más utilizadas en el departamento de San Juan Sacatepéquez están conformadas principalmente por el Pino y el Ciprés.

Tabla I. **Poder calorífico de las dos especies de árboles más utilizadas en San Juan Sacatepéquez**

Espece	Poder calorífico (Btu/Lb)	Poder calorífico (KJ/Kg)
Pino	8 770,4	20 399,95
Ciprés	9 200,3	21 399,90

Fuente: De León, 2010, p. 27.

#### **8.4. Biomasa**

Se considera biomasa a la materia orgánica de origen animal o vegetal, se incluyen los desechos orgánicos, es posible aprovecharla energéticamente. En el área vegetal las plantas toman energía solar y la transforman en energía química por medio de la fotosíntesis. Una parte de esta energía queda almacenada de forma de materia orgánica.

##### **8.4.1. Leña**

La leña es considerada la forma más simple de biomasa, es utilizada para hacer fuego en chimeneas, cocinas o estufas, es extraída de los árboles y comercializada a granel o en fardos. Dependiendo el origen de la leña, esta tiene variantes de poder calorífico, olor, y en la generación de humos y cenizas.

#### **8.5. Densificación**

Consiste en compactar o comprimir pequeños trozos de madera, como lo es el aserrín, chips, etc. Estas piezas tienen varias ventajas: el tamaño uniforme de las piezas, la densidad que en la mayoría de las ocasiones es constante; el poder calorífico que es similar; se puede controlar la humedad, lo que facilita la

combustión. El manejo de estos comprimidos es más fácil ya que se tienen tamaños normalizados y se puede automatizar el proceso.

### **8.5.1. Pellet**

Los pellets son un biocombustible estandarizado, cilíndrico, hecho por la compresión de aserrines, astillas molidas y virutas procedentes de residuos de madera.

El pellet, si está compuesto solo de madera, tiene un balance de emisiones de CO<sub>2</sub> neutro, esto quiere decir que el CO<sub>2</sub> emitido en la combustión es el mismo que ha absorbido el árbol al crecer; por lo tanto, la combustión de pellets ayuda a la reducción de gases de efecto invernadero en la atmósfera, lo que ayuda a cumplir el protocolo de Kyoto. (Arpi & Calderón, 2010)

El consumo de pellets, como una fuente de energía alternativa rentable y no contaminante, es una aplicación avanzada de la biomasa con un alto poder calórico, limpio, de fácil almacenaje. Los pellets ocupan una tercera parte que la leña y su combustión es más eficiente. (Arpi & Calderón, 2010)

En la industria, los pellets se pueden utilizar en calderas, hornos y sistemas de calefacción, ya que representan un ahorro frente a otras fuentes de energía, (2 Kg pellets = 1 litro de biodiesel = 1 m<sup>3</sup> de gas natural). (Arpy & Calderón, 2010)



Figura 5. **Pellets**



Fuente: <http://dpmespecialidades.es/las-estufas-de-pellets/>. Consulta: 2016.

### 8.5.2. **Briqueta**

Se le llama briqueta a un comprimido 100 % ecológico y renovable, es catalogado como una biomasa sólida, que viene en forma de cilindros o ladrillos compactos. Son fabricados con diversos tipos de materiales, pueden ser biomasas, *chips* de madera, aserrín, entre otros. Tienen alta densidad y poca humedad. Dentro de sus principales características físicas podemos considerar:

- **Forma:** la cual generalmente es cilíndrica, pero depende principalmente de la máquina en la cual son fabricadas.
- **Humedad:** para la fabricación de briquetas derivadas de madera se utiliza una materia prima con una humedad menor al 12 %, al compactarse para producir las briquetas se puede obtener una humedad de 8 %. Mientras más bajo sea el porcentaje de humedad, de mejor calidad será la briqueta, ya que producirá menos humo al momento de ser quemada.

- **Composición Química:** la composición química de la briqueta final será similar a la composición química de la madera o biomasa que se utilice como materia prima. El poder calórico será mejor al de la materia prima, porque se contará con una mayor densidad y menos humedad en el producto final.
- Su empleo es similar al de la leña, ya que puede ser utilizado en fogones, hornos y calderas. Su constitución uniforme y compacta es muy útil para transportar y almacenar, dando una manipulación más limpia.
- La combustión de las briquetas es constante y no produce grandes cantidades de humo, tienen un poco residuo de ceniza, aproximadamente el 1 % y su poder calorífico es alto, ya que 2,21 kg de briquetas sustituyen a un litro de gasoil.  
(<http://biodieselya.blogspot.com/2015/05/que-son-las-briquetas.html>, 2015)

Figura 6. **Briquetas**



Fuente: <http://biodieselya.blogspot.com/2015/05/que-son-las-briquetas.html>. Consulta: 2016.

## **8.6. Pelletizadora**

Se le llama peletizadora o pelletizadora a la máquina que realiza el trabajo de convertir o transformar materia prima en piezas pequeñas cilíndricas y comprimidas del material original. Se encuentran máquinas pelletizadoras de varios tipos y se puede fabricar pellets de cualquier materia prima, ya sea plástico o madera, como es el caso de este estudio.

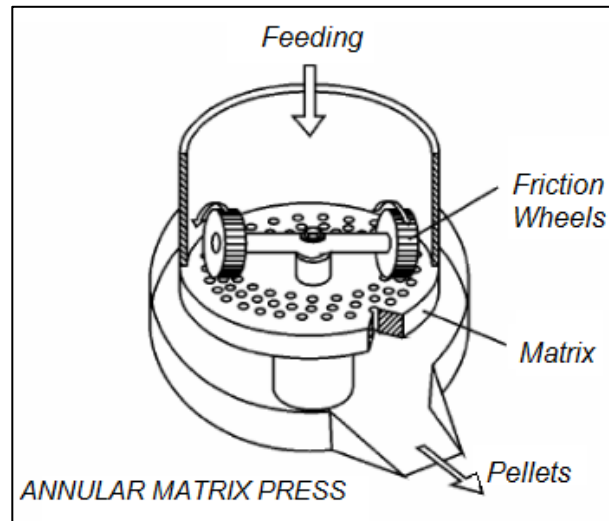
Las tecnologías más utilizadas en la pelletización comercial, están divididas en dos tipos que utilizan el mismo principio:

### **8.6.1. Sistemas de anillo plano (*Flat Type Die*)**

Son sistemas que están basados en un disco de metal, el cual está perforado, y unido a un eje de un motorreductor que lo hace girar. En la carcasa están fijados dos rodillos de fricción, los cuales giran libremente sobre su eje y están en contacto directo con el disco perforado. A su vez, este eje puede desplazarse limitadamente para permitir cierta distancia entre la rueda y el disco, para alojar el material pre-comprimido.

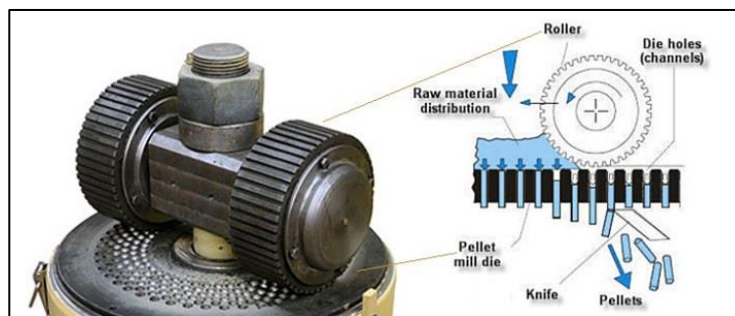
Al hacer girar el disco y agregar aserrín, los rodillos empiezan a introducir y compactar el aserrín en los orificios del disco. La longitud final de los pellets está dada por una cuchilla graduable que va en el lado contrario del disco.

Figura 7. **Pelletizadora de anillo plano**



Fuente: [https://www.inti.gob.ar/e-renova/erBI/pdf/Informe\\_pellets2011.pdf](https://www.inti.gob.ar/e-renova/erBI/pdf/Informe_pellets2011.pdf). Consulta: 2016.

Figura 8. **Corte de los pellets**



Fuente: <http://www.pelletmillsolution.com/product/small-pellet-mill.html>. Consulta: 2016.

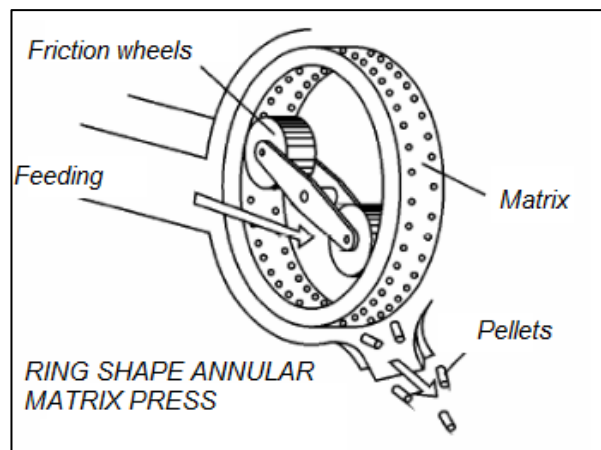
### 8.6.2. **Sistema de anillo cilíndrico (*Ring Type Die*)**

Es un sistema similar al de anillo plano, en estos se posee una matriz cilíndrica; es un cilindro grueso perforado que se encuentra en posición

horizontal que gira haciendo que el aserrín introducido por uno de los lados sea pre-comprimido contra las ruedas de fricción, las cuales giran libremente sobre sus ejes que están soldados a la carcasa. Esto hace que el material nuevo que es introducido comprima al anterior, obligándolo a introducirse en los orificios para generar los pellets, los que son cortados al alcanzar cierto largo por la fuerza centrípeta o por contacto en la carcasa.

Este tipo de sistemas se utilizan para molinos de pellets de gran producción y su costo y complejidad son mayores al sistema de anillo plano. La mayor parte de productores que utilizan esta máquina se encuentran en Europa.

Figura 9. **Pelletizadora de anillo cilíndrico**



Fuente: [https://www.inti.gob.ar/e-renova/erBI/pdf/Informe\\_pellets2011.pdf](https://www.inti.gob.ar/e-renova/erBI/pdf/Informe_pellets2011.pdf). Consulta: 2016.

## 8.7. Briquetadora

Las briquetadoras son máquinas que transforman derivados de madera y biomásas en comprimidos de un tamaño mayor a los pellets, las briquetadoras

varían dependiendo el uso que se les vaya a dar; hay briquetadoras manuales, las cuales funcionan solo realizando palanca. Para uso industrial hay neumáticas y mecánicas.

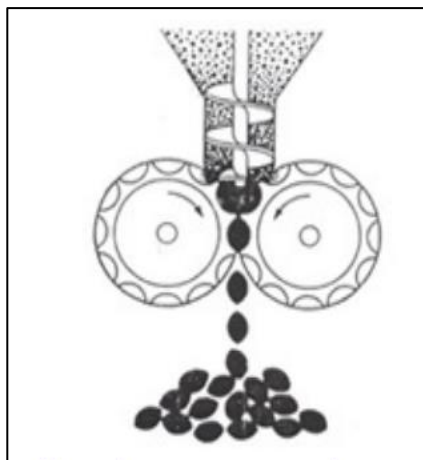
Las tecnologías utilizadas para la fabricación de briquetas varían en cada fabricante, pero se puede dividir estos sistemas de briquetizado en cuatro grupos, los cuales son:

### **8.7.1. Conformación por ruedas formadoras**

Esta máquina es utilizada generalmente con polvos secos como el carbón, aunque también se puede utilizar aserrín, controlando la humedad.

El sistema está compuesto por una tolva de alimentación, luego un tornillo que pre-comprime el polvo; luego pasan por los cilindros conformados con las hemiformas que comprimen el producto final, se producen pellets o briquetas con una forma parecida a un almohadón.

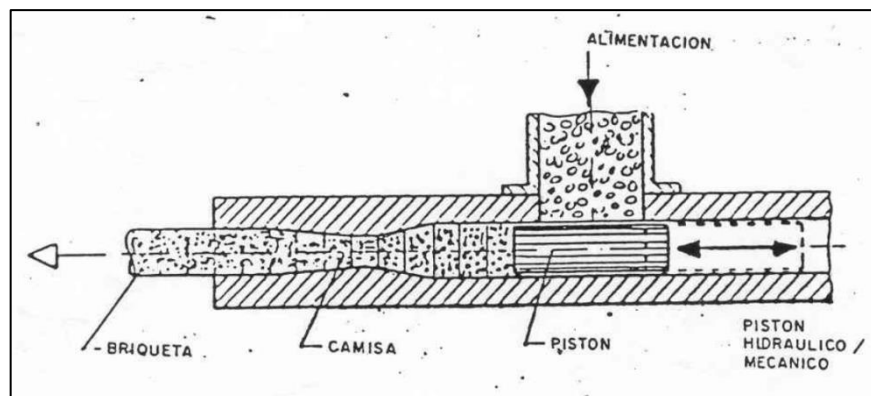
Figura 10. **Conformación por ruedas formadoras**



### 8.7.2. Extrusión a pistón

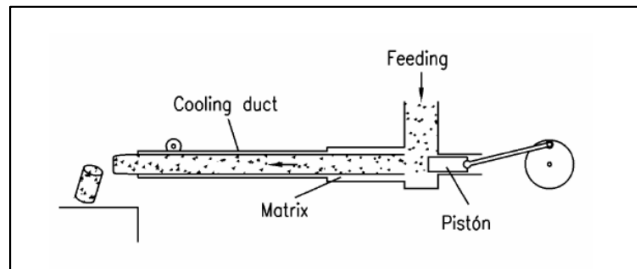
En este tipo de máquina se utiliza un pistón que puede ser accionado de forma neumática o de forma mecánica, por medio de una biela; en este mecanismo ingresa la materia prima por medio de una tolva, el cual luego es comprimido por el pistón contra las paredes de una tubería que puede mantenerse constante o puede tener una reducción en su diámetro para tener una mejor compresión. En este sistema se pueden utilizar partículas más grandes y heterogéneas, lo que hace a estas máquinas muy populares; adicional a eso permiten la fabricación de briquetas huecas, las cuales poseen mayor facilidad para su combustión.

Figura 11. Briquetadora de pistón hidráulico



Fuente: [http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:45279/componente45278.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45279/componente45278.pdf). Consulta: 2016.

Figura 12. **Briquetadora de pistón mecánico**

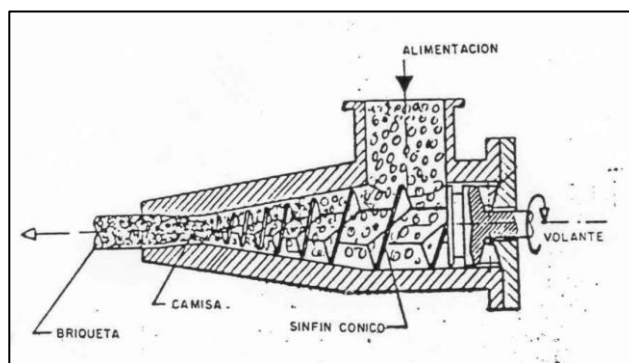


Fuente: [https://www.inti.gob.ar/e-renova/erBI/pdf/Informe\\_pellets2011.pdf](https://www.inti.gob.ar/e-renova/erBI/pdf/Informe_pellets2011.pdf). Consulta: 2016.

### 8.7.3. **Extrusión a tornillo**

Este tipo de tecnología es la más utilizada en la industria para la fabricación de máquinas briquetadoras, en este sistema ingresa la materia prima por una tolva, la cual alimenta a un tornillo sin fin, el cual comprime el aserrín contra una matriz o placa conformadora la que da el diámetro final de la briqueta.

Figura 13. **Briquetadora de tornillo**



Fuente: [http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:45279/componente45278.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45279/componente45278.pdf).

Consulta: 2016.



#### 8.7.4. Compresión manual

Este método es artesanal y es utilizado en muchos hogares. Aquí utilizamos biomasa seca y también se puede utilizar biomasa con alto contenido de humedad, esto es más fácil comprimir la materia prima húmeda y luego secarla bajo el sol. En este sistema se utiliza un cilindro el cual está perforado para que pueda salir el agua, tiene dos tapas móviles, las cuales cumplen la función de un pistón, se puede utilizar una palanca para comprimir la biomasa o un gato hidráulico. En este tipo de máquina se puede utilizar prácticamente cualquier material orgánico como materia prima.

Figura 14. **Briquetadora manual de palanca**



Fuente: [https://www.inti.gob.ar/e-renova/erBl/pdf/Informe\\_pellets2011.pdf](https://www.inti.gob.ar/e-renova/erBl/pdf/Informe_pellets2011.pdf). Consulta: 2016.

Figura 15. **Briquetadora manual con gato hidráulico**



Fuente: <https://i.ytimg.com/vi/0N5laTF6i4c/maxresdefault.jpg>. Consulta: 2016.

### **8.8. Poder calorífico**

Se considera como poder calorífico a la cantidad de energía por unidad de masa o volumen de materia que se puede obtener al tener una reacción química de oxidación.

Hay dos tipos de poder calorífico: el poder calorífico superior que indica el calor real producido en la reacción de combustión y el poder calorífico inferior que dice cuál es el poder realmente aprovechable.

### **8.9. Humo**

El humo es considerado como pequeñas partículas en estado sólido que se encuentran en suspensión en el aire, las cuales se originan de una

combustión incompleta de un combustible. Es un subproducto no deseado de la combustión. Es dañino para el cuerpo, ya que contiene monóxido de carbono y partículas cancerígenas, por esta razón se recomienda no utilizar fogones en las casas o cocinas si no hay una forma adecuada de extraer los gases, ya que pueden producir asfixia, problemas respiratorios y la muerte.

#### **8.10. Ceniza**

La ceniza es el producto de una combustión de algún material, está compuesta por sustancias inorgánicas no combustibles como lo son los minerales y las sales; una parte puede quedar como residuo en forma de polvo depositado en el lugar de la combustión, y parte puede ser expulsada al aire como parte del humo.

#### **8.11. Hollín**

Son partículas sólidas de tamaño muy pequeño, no mayor a 5 micras. En su mayoría están compuestas por carbono impuro, pulverizado y de colores negruzcos; resulta de una combustión incompleta, parecido a la ceniza pero con un tono más negro.



## 9. ÍNDICE PROPUESTO DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y TABLAS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

### 1. ANTECEDENTES

1.1. Situación energética y forestal a nivel mundial

1.1.1. A escala latinoamericana y el caribe

1.1.2. A nivel centroamericano

1.2. Situación energética y forestal en Guatemala

1.2.1. Situación en San Juan Sacatepéquez

### 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Biocombustibles

2.1.1. Leña

2.1.2. Carbón

2.1.3. Biomasa

2.1.4. Pellets

2.1.5. Briquetas

2.2. Máquinas elaboradoras de comprimidos de biomasa y leña

2.2.1. Pelletizadora

2.2.1.1. Pelletizadora de anillo plano

2.2.1.2. Pelletizadora de anillo cilíndrico

- 2.2.2. Briquetadora
  - 2.2.2.1. Briquetadora por conformación de ruedas formadoras
  - 2.2.2.2. Briquetadora de pistón
  - 2.2.2.3. Briquetadora de tornillo
  - 2.2.2.4. Briquetadora manual
- 2.3. Pruebas necesarias para determinar un buen biocombustible
  - 2.3.1. Poder calorífico
  - 2.3.2. Humos
  - 2.3.3. Residuos de hollín
- 3. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS
  - 3.1. Materiales
  - 3.2. Personal requerido
  - 3.3. Demanda del proceso
- 4. PROPUESTA DE DISEÑO
  - 4.1. Diseño propuesto
  - 4.2. Costos
- 5. ANÁLISIS DE RETORNO DE INVERSIÓN
  - 5.1. Costo inicial de fabricación.
  - 5.2. Costo mensual de operación.
  - 5.3. Taza interna de Retorno (TIR)
- 6. ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL
  - 6.1. Situación ambiental con la quema de leña
  - 6.2. Situación ambiental con la quema de briquetas

7. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

ANEXOS





## 10. METODOLOGÍA

Este diseño de análisis técnico- financiero se realizará utilizando un modelo de estudio experimental-cuantitativo, el cual tendrá como variables los exámenes de laboratorio, para obtener los datos de poder calorífico, hollín y humos.

Se utilizarán indicadores para las variables de costo de fabricación de la máquina y el costo necesario para elaborar una briqueta y comparar su costo con la leña común, sus pros y contras en la región evaluada.

El proceso de investigación constará de seis etapas, las cuales son: estudio de factibilidad para la construcción de una máquina elaboradora de briquetas, fabricación de la máquina, elaboración de briquetas a base de pino, estudio en laboratorio de las briquetas, comparación de datos y conclusiones.

Estudio de factibilidad: en esta etapa se realizan los cálculos de los costos totales necesarios para la fabricación de la máquina, incluidos materiales, torno y mano de obra.

Fabricación de la máquina: en esta etapa se llevará a cabo el diseño y fabricación de la máquina briquetadora, a partir del diseño original de una briquetadora de tornillo, en la cual se podrán elaborar las briquetas de residuos de pino, al igual que cualquier otra briqueta de biomasa que se desee.

Elaboración de briquetas: al tener la máquina lista se realizarán pruebas y se iniciará el proceso de elaboración de briquetas con residuos de pino que es

la madera más utilizada en San Juan Sacatepéquez. Se analizará cuál es la mejor granulometría, tamaño y contenido de humedad que deben tener los residuos de pino para elaborar briquetas más consistentes y de mejor calidad, para luego realizar pruebas en laboratorio.

Pruebas en laboratorio: en esta etapa se tomarán las briquetas de pino y leña de pino para llevarlas a un laboratorio donde realicen tres pruebas: poder calorífico, residuos de hollín y humos.

Comparación de datos: esta etapa es la más importante, porque hasta en este momento se tendrán los resultados reales de las briquetas y de la leña, los cuales indicarán cual es la mejor opción.

Conclusiones: se elaboraran tablas comparativas en las que se observarán: costos, poder calorífico, residuos de hollín y humos para las briquetas y la leña tradicional. Se definirá cual es una mejor opción económicamente hablando.

## 11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Se utilizará estadística descriptiva para comparar los datos cualitativos obtenidos en el laboratorio, por medio de tablas. Esto nos dará la conclusión de cuál elemento es mejor.

La calidad de las briquetas estará determinada por dos variables: el tamaño del aserrín y por la humedad del mismo. Se realizarán varias briquetas en las que se cambiarán estas dos variables, teniendo claro que la mejor briqueta es la que tiene menor humedad y material más pequeño; pero se tomará en cuenta que la humedad ayudará como aglutinante para tener briquetas más sólidas, que soporten traslado y almacenaje.



## 12. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Mes	ene-17				feb-17				mar-17				abr-17				may-17					
	Semana																					
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
ACTIVIDADES	Diseño de la máquina	■	■	■	■																	
	Compra de motoreductor			■	■																	
	Fabricación del tornillo sin fin				■	■																
	Fabricación de tolva de agregados				■	■																
	Ensamble de la máquina						■	■														
	Pruebas en vacío								■													
	Compra de materia prima								■													
	Preparación de la materia prima								■	■												
	Pruebas de fabricación de briquetas										■	■										
	Fabricación de briquetas												■	■								
	Pruebas en laboratorio														■	■						
	Análisis de Resultados																■					
	Conclusiones																■					
	Redacción de Informe																	■	■			
	Impresión																			■		

Fuente: elaboración propia.



## **13. RECURSOS NECESARIOS**

### **13.1. Recursos humanos**

La supervisión de la fabricación de la máquina será realizada por un licenciado en ingeniería mecánica con conocimientos en diseño de máquinas, elaboración y ejecución de proyectos.

Se contará con un tornero de profesión, quien elaborará la mayor parte de piezas necesarias para la fabricación de la máquina. El costo de mano de obra de la persona encargada del torno será de Q. 800,00 por la elaboración de las piezas.

### **13.2. Recursos materiales**

Se comprará un motoreductor de 0,5 hp con caja a 90 grados, el cual tiene un costo de Q. 3 800,00, materia prima para realizar el tornillo sin fin y la estructura de la máquina con un costo de Q. 2 000,00, la materia prima (aserrín de pino) tendrá un costo de Q. 50,00; piezas varias para el ensamble de la máquina con un costo promedio de Q.500,00.

### **13.3. Recursos físicos**

Es necesario un espacio para realizar el ensamble de la máquina, pruebas, fabricación de briquetas, tabulación de datos y redacción del documento final, este espacio se tiene por lo que no tendrá ningún costo.

#### 13.4. Recursos tecnológicos

Se requiere de un torno para fabricar las piezas de la máquina, este será subcontratado; además, equipo de cómputo para la redacción del documento final. Este equipo ya se tiene, por lo que no representa un costo para el proyecto.

#### 13.5. Recursos financieros

Los recursos financieros necesarios para la elaboración del proyecto están descritos en la siguiente tabla:

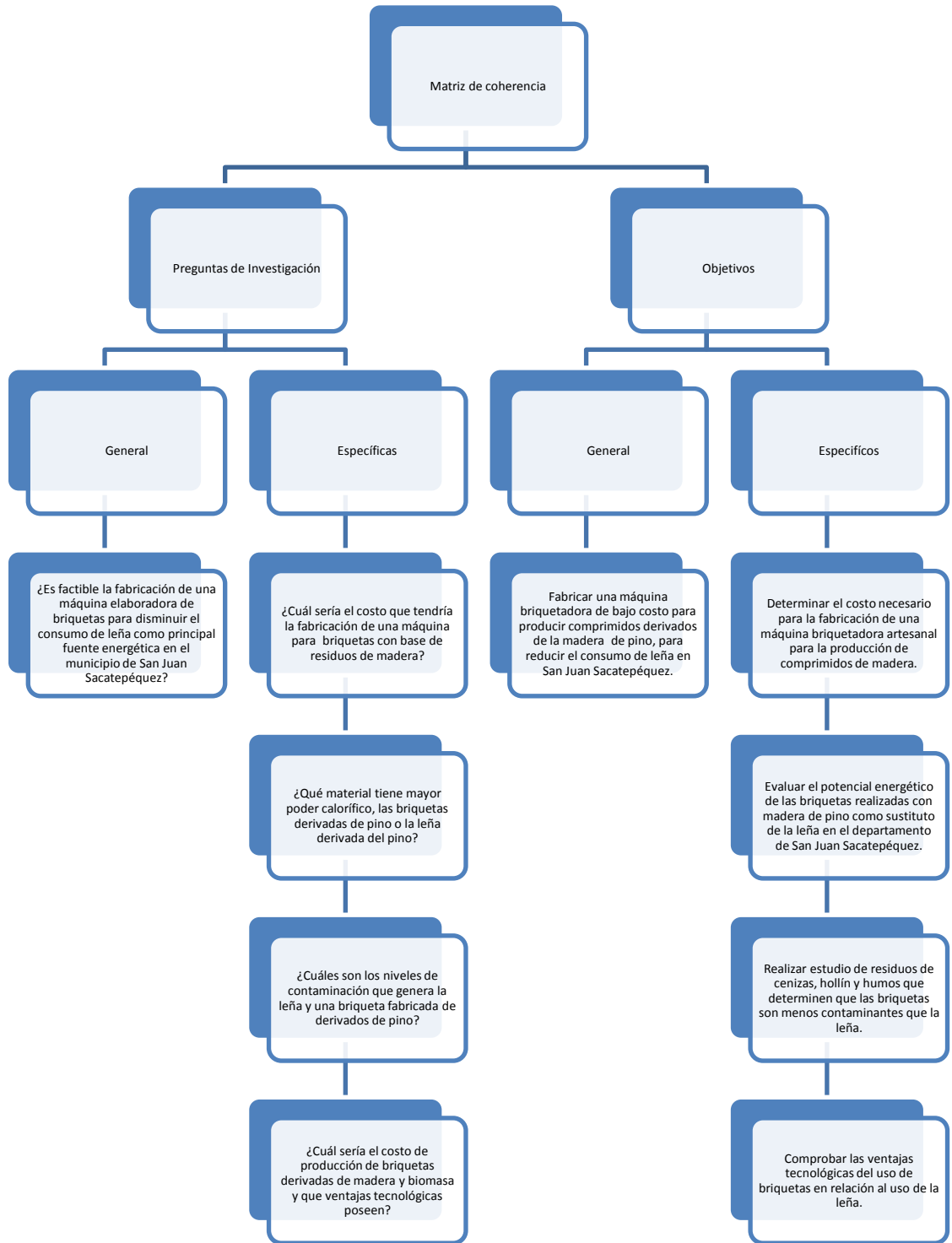
Tabla II. Recursos financieros

Cantidad	Concepto	Precio Unidad	Total
300	Hojas de papel Bond blanco, 80 gramos, tamaño carta	Q. 0,10	Q. 30,00
1	Bolígrafo	Q. 1,50	Q. 1,50
1	Lápiz	Q. 1,50	Q. 1,50
1	Impresión de informe final	Q. 100,00	Q. 100,00
1	Motoreductor	Q. 3 800,00	Q. 3 800,00
1	Materiales para fabricación de máquina	Q. 1 200,00	Q. 1 200,00
1	Salario Tornero	Q. 800,00	Q. 800,00
1	Chumacera para eje de 1plg	Q. 80,00	Q. 80,00
1	Cojinete con diámetro de 1 plg	Q. 30,00	Q. 30,00
2	Aserrín (saco)	Q. 25,00	Q. 50,00
2	Resistencias Térmicas	Q. 85,00	Q. 170,00
6	Pruebas de Laboratorio	Q. 500,00	Q. 3 000,00
	Total Parcial		Q. 9 263,00
	10 % por imprevistos		Q. 926,30
	TOTAL		Q. 10 189,30

Fuente: elaboración propia.



Figura 16. **Matriz de coherencia**



Fuente: elaboración propia.



## 14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arpi & Calderón. *Diseño de una máquina pelletizadora en base a la disponibilidad de residuos madereros de la ciudad de Cuenca para su aprovechamiento energético*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2010, 423p.
2. Bruzzo Escalante & John Fitzgerald, *Rediseño de los procesos de operación y mantenimiento de las máquinas de HBI de Matesi*, Universidad Simón Bolívar, Especialización en Diseño y Mantenimiento Industrial, Venezuela, Octubre 2005, 152p.
3. Carrasco García Juan. *Combustión directa de la biomasa*, Escuela de Negocios, Master en Energías Renovables y Mercado Energético, EOI, 2007, 30p.
4. Contreras Bernal Orlando D. *Diseño y cálculo de una máquina para producir briquetas de urea*, (Tesis de Licenciatura), Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Mecánica, Ecuador, 2009, 226p.
5. Cortez, C. *Manuales de Buenas Prácticas, Serie: Estufas mejoradas*, (Manual dirigido a estudiantes), Universidad del Valle de Guatemala y Fundación Soros Guatemala, 2010, 48p.

6. IARNA-URL, Sandoval César, Castañeda Juan Pablo. *La cadena de la tala no controlada en Guatemala: Los Casos de Tecpán Guatemala, Chimaltenango y San Juan Sacatepéquez*, Universidad Rafael Landívar, Guatemala, 2009, 32p.
7. IARNA-URL. *Perfil Ambiental de Guatemala 2010-2012. Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo*, Universidad Rafael Landívar, Guatemala, 2012, 468p.
8. Marcos Martín. *Oferta y demanda de leña en la República de Guatemala*, INAB, Guatemala 2012, 73p.
9. MARN. *Política Nacional de Cambio Climático*, Gobierno de Guatemala, Guatemala, 2012, 48p.
10. MEM. *Estrategia Nacional para el uso eficiente de la leña*, Gobierno de Guatemala, Guatemala 2013, 26p.
11. MEM. *Política Energética 2013-2017*, Gobierno de Guatemala, Guatemala, 2013, 56p.
12. OMS, *Calidad del aire exterior y salud*, (nota descriptiva), Recuperado de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/> 2014, 5P.
13. Smith, K. *El uso doméstico de leña en los países en desarrollo sus repercusiones en la salud*, FAO, Estados Unidos, 2007, 4p.

14. Tauro Raúl Jesús. *Factibilidad Técnica-Económica de la Producción de pellets con residuos de la industria forestal del Estado de Veracruz*. (Tesis de Maestría). Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Maestría en Ingeniería Energética, México, 2013, 103p.
  
15. Informe Pellets 2011. *Aspectos de la Generación de Calor por Combustion de Desechos Foresto-Industriales Densificados*, sin autor, 2011.

