

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



**Estudio de factibilidad para el uso de biomasa como generador de energía  
renovable en una planta industrial de madera en Guatemala**

Trabajo de Investigación presentado por

**Carlos Enrique Rivera Jourdain**

para optar al grado de licenciado en Ingeniería en Ciencia de la Administración

Guatemala

2012



**Estudio de factibilidad para el uso de biomasa como generador de energía  
renovable en una planta industrial de madera en Guatemala**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

**Estudio de factibilidad para el uso de biomasa como generador de energía  
renovable en una planta industrial de madera en Guatemala**

Trabajo de Investigación presentado por


**Carlos Enrique Rivera Jourdain**

para optar al grado de licenciado en Ingeniería en Ciencia de la Administración

Guatemala

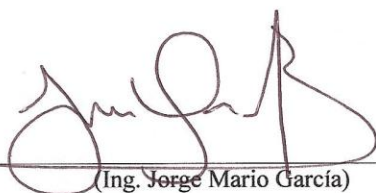
2012


Vo. Bo. :

(f)   
\_\_\_\_\_  
(Ing. Alfredo Rivera)

Tribunal Examinador:

(f)   
\_\_\_\_\_  
(Ing. Celso Cerezo)

(f)   
\_\_\_\_\_  
(Ing. Jorge Mario García)

(f)   
\_\_\_\_\_  
(Ing. Alfredo Rivera)

Fecha de aprobación: Guatemala, 10 de enero de 2012

## PREFACIO

La elaboración del presente trabajo de graduación, titulado *Estudio de factibilidad para el uso de biomasa como generador de energía renovable en una planta industrial de madera en Guatemala* surgió del interés personal de profundizar en los temas de conservación del medio ambiente y de la creación de nuevos procesos ecológicamente conscientes. Se realiza con el fin de agrupar los conocimientos adquiridos durante la carrera de Licenciatura en Ingeniería y Ciencias de la Administración.

Quiero agradecer, en primer lugar, al Ing. Manuel Alfredo Rivera Gallardo, por su apoyo como asesor de tesis, su orientación y sus revisiones meticulosas, sin el cual hubiera podido llevarse a cabo. Agradezco a mis padres, Licenciado Carlos Enrique Rivera Gallardo y Licenciada Paola Jourdain de Rivera y a toda mi familia su incondicional apoyo, en todos los sentidos posibles. A mis amigos quienes estuvieron conmigo durante toda la carrera y la elaboración del trabajo de graduación.

## ÍNDICE

LISTA DE TABLAS .....	viii
LISTA DE FIGURAS Y GRAFICOS.....	ix
RESUMEN .....	xi
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. JUSTIFICACIÓN .....	3
III. OBJETIVOS .....	4
IV. METODOLOGÍA .....	5
V. MARCO TEÓRICO .....	7
VI. SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA .....	22
VII. DESCRIPCIÓN Y PRESENTACIÓN DE PROCESOS PROPUESTOS .....	35
VIII. ANÁLISIS FINANCIERO Y COMPARACIONES .....	54
IX. IMPACTO AMBIENTAL .....	75
X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	79
XI. BIBLIOGRAFÍA .....	81
XII. ANEXOS.....	84

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
Tabla 1. Comparativo maquinaria de prensa hidráulica y mecánica .....	16
Tabla 2. Comparativo propiedades de combustibles .....	30
Tabla 3. Comparativo valores energéticos de combustibles .....	31
Tabla 4. Personal y salarios .....	54
Tabla 5. Parámetros generales .....	55
Tabla 6. Costos de inversión .....	55
Tabla 7. Costos de producción .....	56
Tabla 8. Impuestos.....	56
Tabla 9. Amortización de préstamo briquettes.....	57
Tabla 10. Flujos de caja de inversión .....	59
Tabla 11. Personal y salarios .....	64
Tabla 12. Parámetros generales .....	65
Tabla 13. Costos de inversión .....	65
Tabla 14. Costos de producción .....	66
Tabla 15. Impuestos después de 10 años de operación.....	66
Tabla 16. Amortización de préstamo generación.....	67
Tabla 17. Flujos de caja de inversión .....	69
Tabla 18. Comparativo de resultados .....	73
Tabla 19. Cotizaciones de inversión, fabricación de briquettes .....	84
Tabla 20. Cotizaciones de inversión, generación de electricidad.....	85
Tabla 21. Flujos de caja libre, fabricación de Briquettes .....	87
Tabla 22. Flujos de caja libre, generación de electricidad .....	88

## LISTA DE FIGURAS Y GRÁFICOS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
Figura 1. Proceso de bosque a planta .....	8
Figura 2. Proceso de obtención de biomasa .....	15
Figura 3. Generación de electricidad por medio de biomasa .....	17
Figura 4. Bosque disponible y crecimiento inadecuado de la Melina .....	22
Figura 5. Recrecimiento de la Melina después de ser cortada .....	23
Figura 7. Troncos de Melina y tablero sólido terminado .....	24
Figura 8. Aplicación de tableros en vivienda popular y puertas .....	25
Figura 9. Descortezado .....	27
Figura 10. Opticut.....	27
Figura 11. Joint-Finger .....	28
Figura 12. Caldera y hornos de secado.....	29
Figura 13. Prensa.....	29
Figura 14. Máquina de astillado y molino de martillo .....	40
Figura 15. Máquina de secado .....	40
Figura 16. Prensa hidráulica y producto resultante.....	41
Figura 17. Diseño preliminar proceso de cogeneración y fabricación de briquettes.....	42
Figura 18. Diseño preliminar proceso generación de electricidad.....	49
Figura 19. Comparativo de valores finales de alternativas.....	51

<b>Gráfico</b>	<b>Página</b>
Gráfico 1. Diagrama de flujo produccion de Briquettes de biomasa.....	38
Gráfico 2. Diagrama de flujo produccion de energía electrica.....	45
Gráfica 3. TIR vs costo materia prima .....	61
Gráfica 4. TIR vs precio de venta .....	62
Gráfica 5. TIR vs costo de inversión.....	63
Gráfica 6. TIR vs costo materia prima .....	71
Gráfica 7. TIR vs precio de venta .....	72
Gráfica 8. TIR vs costo de inversión.....	73

## RESUMEN

Este trabajo de graduación busca coadyuvar en la toma de decisión de una empresa por medio de la realización de propuestas de posibles caminos para establecer nuevos procesos de producción, cuya finalidad es la venta de productos de madera en Guatemala.

La empresa es una procesadora de productos de madera de alta calidad para uso en hogares y muebles. Cesó sus operaciones por falta de demanda en cuanto a este tipo de productos, y esta en este momento a la espera de una decisión analítica, técnica y financiera nueva para reactivar operaciones.

La razón de hacer esta propuesta de procesos de producción de la empresa, surge de la situación del mercado actual de fabricación de productos a base de biomasa, habiendo establecido que no existe una empresa totalmente posicionada en éste segmento de mercado, por lo que se considera que si la empresa lograra implementar los procesos, podría superar sus debilidades actuales y lograr consolidarse como la más importante en el sector de material de suministro de biomasa en Guatemala.

Para proponer estos procesos se realizará una investigación de los procesos necesarios, maquinaria e inversiones. Primero se procederá con un análisis del proceso de producción; seguido por análisis financieros sobre la factibilidad de implementar un nuevo proceso y concluyendo con un análisis del impacto ambiental que estos nuevos procesos podrían tener en la industria.

## I. INTRODUCCIÓN

La protección del medio ambiente y la productividad económica de las empresas no siempre van de la mano. Con el surgimiento de una necesidad de protección y cuidado del medio ambiente, surge la necesidad de crear procesos de producción sostenibles que afecten en lo mínimo al medio ambiente y al mismo tiempo sean económicamente rentables.

El trabajo de graduación a continuación busca analizar la posibilidad de transformar biomasa, de una fábrica de procesamiento de madera, en una fuente de energía limpia y renovable. Esto se llevará a cabo, utilizando los bosques existentes de una planta procesadora de madera (aserradero y elaboración de tableros de madera sólida), localizada en Izabal. Siendo esto factible, se analizarán los posibles cambios necesarios en maquinaria y procesos para utilizar este nuevo tipo de energía, cambiando así, la fuente energética que en este momento utiliza la planta. Asimismo, se analizará convertir el uso del bosque para producir Briquettes<sup>1</sup> que pueden ser vendidos a plantas generadoras de energía. La razón fundamental detrás de esta búsqueda es por un lado, usar biomasa ya existente, producir energía para consumo propio y/o su venta a terceros, y por otro lado, la rentabilidad de este posible nuevo sistema operacional.

Se cree que este cambio en la planta, es importante puesto que hay una abundancia propia de fuente biológica de energía, que podría ser usada en la producción de energía limpia, con lo cual bajaría los costos de energía utilizados en el proceso de producción, buscando siempre un mejor funcionamiento técnico, el adecuado aprovechamiento de recursos renovables y un costo global de operación menos oneroso, puesto que en la actualidad la planta compra la energía que necesita para su funcionamiento. En resumen, la meta sería sustituir material que es utilizado para producción de tableros sólidos de madera, en un producto económicamente más viable y con mayor demanda del mercado y adicionalmente

---

<sup>1</sup> Briquettes se refiere a un producto fabricado de diferentes fuentes biomásicas, comprimido y extruido para crear leña reconstituida que reemplaza a la madera verde.

amigable al medio ambiente. Así mismo se pretende justificar la inversión en maquinaria productora de briquettes, así como, alternativamente, la posible inversión de una planta generadora de energía.

## II. JUSTIFICACIÓN

El cuidado y protección del medio ambiente, debe estar presente en la agenda de las empresas productoras en Guatemala. Se presentan muchas razones de la necesidad de este posible cambio que se pretende realizar en esta planta de fabricación de productos de madera.

Se pretende analizar la factibilidad del uso de biomasa para evitar el desperdicio de biomasa utilizable, la transformación de ésta en energía útil y adecuada para el funcionamiento de un proceso industrial. Últimamente ha surgido la necesidad de una fuente de energía más barata y a su vez “limpia” que sea el frente hacia un mejor cuidado y protección del medio ambiente en Guatemala.

Todo esto enfocado hacia una o varias propuestas económicamente factibles. Se pretende dar recomendaciones no únicamente de beneficios ecológicos sino que también económicos, con el objeto de lograr la sostenibilidad del bosque y por ende del proyecto.

### **III. OBJETIVOS**

#### **A. Objetivo general**

Analizar la factibilidad para utilizar biomasa como insumo para la generación de energía en una fábrica procesadora de madera en Izabal. Por medio de la realización de análisis técnicos, operativos, financieros y necesidades de mercado.

#### **B. Objetivos específicos**

1. Investigar la situación actual de la planta en cuanto a producción de productos de madera.
2. Investigar técnica y financieramente el uso de biomasa en una planta procesadora de madera.
3. Comparar ecológicamente las alternativas propuestas.
4. Realizar análisis financieros comparativos de alternativas propuestas.

#### **IV. METODOLOGÍA**

Se realizará un análisis bibliográfico de una típica planta procesadora de productos de madera y del tipo de energía que utiliza, incluyendo el uso o no de biomasa para producir energía necesaria para la operación. Este análisis incluirá la revisión de maquinaria necesaria para la producción de energía de diferentes fuentes. Asimismo se hará un análisis completo del estado actual de la planta de madera para conocer los cambios necesarios para dicho fin.

Se hará un estudio de campo de la mencionada empresa, para observar todo el proceso operacional especialmente la producción de energía, su fuente, la cantidad de biomasa generada por la operación industrial y la investigación dirigida a establecer si la cantidad de materia prima es suficiente para producir la energía necesaria para operar la fábrica. Incluso se analizará la factibilidad de utilizar la totalidad de la biomasa disponible y no sólo su desecho, como una fuente para la producción y venta de energía en contraposición a seguir produciendo tableros de madera sólida. Se analizará la conveniencia de convertir la biomasa en Briquettes, con lo cual se hace posible la venta de biomasa a otras plantas generadoras de energía, que requieren de biomasa, como sucede actualmente con los Ingenios de azúcar y otras plantas generadoras de energía que funcionan en Guatemala.

Se elaborarán procesos propuestos que indiquen los posibles caminos que puede tomar la empresa para el mejor uso de su materia prima que tiene a disposición, para establecer las mejores propuestas que a la vez le presente un ahorro económico, así como presentar gráficas o tablas, de comparativos de fuentes de energía, ya sea producidas en la propia fábrica o comprada de otras empresas generadoras de energía; datos de la cantidad de materia prima durante un periodo de tiempo y estudios comparativos de potencias energéticas.

Por último, se realizarán los necesarios análisis financieros para comparar los procesos propuestos con la utilización de la biomasa como fuente de consumo propio de energía o alternativamente como una fuente de venta de energía a través de la elaboración de Briquettes. Esto dará lugar a la conclusión, de que si la quema

de desechos y materia prima naturales le presenta un ahorro económico a la planta o amerita re-direccionar el recurso forestal hacia la producción y venta de briquettes.

Posterior a los análisis mencionados anteriormente, se hará un análisis de la situación actual de la empresa y se planificara los cambios necesarios para pasar de la situación actual a una nueva etapa aparentemente más prometedora en el ámbito ecológico, práctico y económico.

Con base en los resultados del estudio, se hará las conclusiones y recomendaciones pertinentes a la empresa.

## **V. MARCO TEÓRICO**

### **A. Manejo de plantas industriales de productos de madera**

Los bosques y las tierras forestales constituyen ecosistemas muy diversificados que sustentan millones de especies y proporcionan una amplia gama de productos, cumpliendo de esta manera con importantes funciones sociales, económicas y ambientales. Los bosques tropicales constituyen importantes reservas de carbono. (INAB 2010)

El objetivo del manejo correcto de una planta de productos de madera es crear un ambiente forestal sustentable, es decir la perpetuidad de los bosques, para beneficio del proyecto y de todas las generaciones. (INAB 2010)

A través del manejo forestal sustentable de los bosques se cultivan las mismas especies de árboles que se cosechan y se transforman en productos de madera. Esto es complementado con la reforestación y cosecha de aquellas maderas que requiere el mercado y la industria formal. (INAB 2010)

### **B. Plantas de madera en Guatemala**

Guatemala es un país que casi en su totalidad está cubierta de bosques, su nombre en náhuatl tiene como definición "el lugar de muchos árboles". Por ende, la industria de producción y comercialización de madera procesada es una industria en desarrollo. Siendo los bosques el principal patrimonio cultural y turístico que tiene Guatemala, la Gremial Forestal de Guatemala, está encargada de promover el cultivo y el manejo sostenible de los bosques de Guatemala. La misma está integrada por asociaciones forestales de diferentes regiones del país. (INAB 2010)

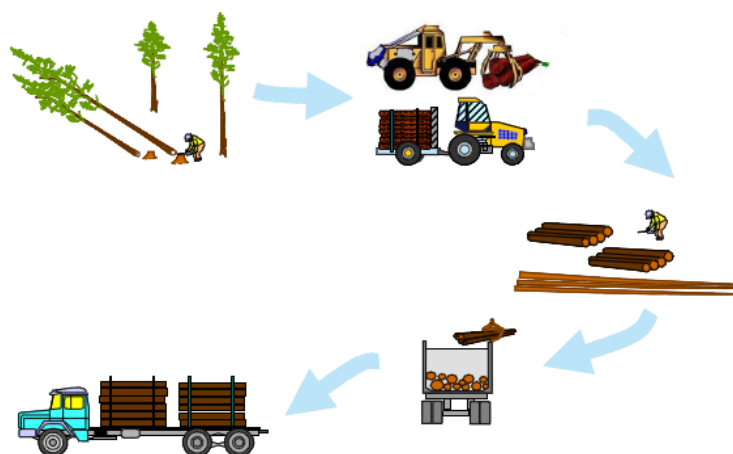
Además del fomento de la reforestación y manejo sostenible de los recursos forestales, la Gremial Forestal, está encargada de manejar las discusiones de normas y reglamentos relacionados con la actividad forestal, participar en

negociaciones de libre comercio con otros países y especialmente representar al sector privado en diferentes entidades, como el Instituto Nacional de Bosques y el Clúster Forestal. (INAB 2010)

### C. Procesos de producción

El proceso de producción de productos de madera, comienza en el bosque cercano a la planta, donde los troncos se llevan a un centro de acopio para esperar a ser procesados. Este proceso debe tomar poco tiempo ya que es de esperar que el bosque más lejano esté a, no más de 15 km de la planta principal. Generalmente la recopilación de materia prima se lleva a cabo por medio de cortado manual y desrame. Los árboles cortados son transportados a una área de acopio secundario por medio de tractor, en esta área se cortan los troncos, de ser necesario, para cargarse manualmente o por medio de grúa a camiones que transportan esta materia al centro de acopio principal en la planta. A continuación se lleva al área de clasificación de los troncos según su diámetro. (CMPC 2008)

**Figura 1. Proceso de bosque a planta**



Los troncos clasificados, se llevan a una máquina de descortezado, para ser trasladados a la planta. Al arribar a las fajas de procesamiento, el tronco pasa por

una sierra madre que corta el tronco para convertir el tronco en un rectángulo, con la remoción de madera en semicírculo. (CMPC 2008)

Esta madera, ahora es procesada con sierras partidoras que cortan en tablas este tronco rectangular en aproximadamente 6 tablas. Por último, pasa por el área de dimensionamiento longitudinal de acuerdo al tamaño de tablas que se requieren. (CMPC 2008)

La madera de acuerdo a las especificaciones requeridas es recibida y clasificada en verde, es decir, es clasificada de acuerdo a su tipo y calidad. Luego se envía ésta para el proceso de secado. En este proceso no se generan desperdicios porque es una simple clasificación de la madera verde. (CMPC 2008)

El secado es una operación unitaria que consiste en la extracción del exceso de agua retenida en la madera por medio de “hornos” de calor en estado de vapor, de tal manera que la madera pierda humedad, hasta obtener una humedad menor o igual al 10%. Dicho vapor es generado por una caldera que se alimenta de las piezas residuales de madera no utilizadas en el proceso industrial así como el aserrín que dicho proceso produce. No se generan desechos industriales. (CMPC 2008)

**1. Maquinaria.** Principalmente, se presentan dos tipos de maquinaria para el tratamiento de madera en la industria, la planta de madera de instalaciones fijas y la planta de madera de instalaciones móviles. Las instalaciones fijas, son aquellas que tienen una ubicación permanente y manejan ciclos de producción completos y constantes. Las instalaciones móviles, montadas sobre chasis, se pueden desplazar hasta las mismas fuentes de materias primas. Debido a su sistema simplificado, se producen con la maquinaria móvil generalmente tablas y viguetas de hasta cierto tamaño. Aunque la principal ventaja de las planta móviles, es que los residuos y desperdicios quedan en el mismo lugar de elaboración y se convierte en fertilizante para la reforestación. (MadePron 2002)

Como un paso inicial la planta de madera fija maneja maquinaria más compleja, especialmente sierras y equipo sofisticado. Principalmente, requiere de

transporte pesado para trasladar del bosque a la planta la materia prima, es decir los troncos de árboles. Asimismo se requiere de máquinas descortezadoras y máquinas de aserrío para procesar el producto. (MadePron 2002)

El proceso de secado de la madera se lleva a cabo por medio de una caldera que utiliza como fuente de energía los residuos de la planta, como lo es el residuo de descortezamiento y de aserrín por corte de tablas así como las piezas de madera procesada no utilizada en la elaboración de tableros (como por ejemplo, puntas no uniformes en los extremos de las tablas antes de ser prensadas para producir los tableros). Con estos desechos se produce vapor de agua que a su vez calienta la bodega de secado y remueve la humedad de la madera procesada. (MadePron 2002)

Luego de secadas, las piezas de madera pasan por una serie de maquinaria industrial (OptiCut (Seleccionadora), Finger Joint, Molder (Molduradora) y Press (Prensa)) para producir tableros sólidos de madera.

**2. Materia Prima.** La materia prima para la planta de madera proviene del árbol de melina, *Gmelina Arbórea*, la cual se cultiva en abundancia en el departamento de Izabal por lo que es una fuente principal para el procesamiento de madera en Guatemala. La *Gmelina arborea*, pertenece a la familia de las *Verbenaceae* y se caracteriza por ser una especie de corta vida cuya edad no supera los 30 años. Alcanza hasta 30 metros de altura y 60 centímetros de diámetro. Su principal cualidad es su acelerado crecimiento hasta los cinco o seis años de haber sido plantada, ya que cuando alcanza la altura de los adultos, su crecimiento se vuelve lento. (Obregón 2004:14)

La especie es usada en sistemas agroforestales, junto con otras especies como el maní, tabaco y maíz. Se siembra en cultivos de café y cacao para proteger los árboles jóvenes y limpiar maleza o hierbas, se usa como cerca viva, cortina rompe vientos, barreras protectoras o como especie ornamental en avenidas y jardines.

Su fuste es corto, de 50 a 80 centímetros de diámetro, su corteza es lisa o escamosa de color marrón pálido o grisáceo. En forma aislada, el árbol tiene fuste cónico, copa amplia, ramas abundantes, gruesas y bajas; en plantaciones densas el fuste es menos cónico y limpio. Sus hojas son simples, grandes, opuestas, tienen forma acorazonada y miden de 10 a 20 centímetros de largo y entre 5 y 18 centímetros de ancho. (Obregón 2004:15)

La madera de melina, se caracteriza por ser moderadamente liviana, de lustre alto y apariencia suave y sedosa. No presenta olor. Entre la albura y el duramen no existe diferencia, su grano es recto a entrecruzado y su textura es gruesa. Su color varía de crema a pardo amarillento, tornándose pardo-rojizo con la edad. (Obregón 2004:15)

Sus usos más comunes son la elaboración de chapas decorativas, tableros contrachapados, aglomerados o de partículas. Como madera de aserrío, es apta para la construcción estructural (artesonos, vigas, madera en cuadro y reglas) y de obra liviana, en la edificación de barcos y cubiertas y en la fabricación de entibos (madera que se usa en las minas para reforzar los muros o paredes). Por su capacidad y resistencia al fuego se emplea para la decoración interior de casas y edificios (tabla, tablillas o paneles de madera sólida) y en estructuras internas de edificaciones. (Obregón 2004:16)

#### **D. Biomasa**

La energía proveniente de la biomasa es un tipo de energía renovable procedente del aprovechamiento de la materia orgánica e inorgánica formada en algún proceso biológico o mecánico, generalmente, de las sustancias que constituyen los seres vivos (plantas, ser humano, animales, entre otros), o sus restos y residuos. El aprovechamiento de la energía de la biomasa se hace directamente (por ejemplo, por combustión), o por transformación en otras sustancias que pueden ser aprovechadas más tarde como combustibles o alimentos. Un kilogramo de biomasa proporciona aproximadamente 3,500

kilocalorías, mientras que un litro de gasolina, proporciona 10,000 kilocalorías. Tomando el valor energético de la biomasa, se establece en forma aproximada, que 3kg de biomasa equivalen a 1 litro de gasolina. (FOCER 2002)

Guatemala cuenta con el 54% de su territorio con vocación forestal, así como con las condiciones de clima y suelo necesarias para obtener altas tasas de crecimiento de biomasa por hectárea que le dan la capacidad de establecer plantaciones de rápido crecimiento. Estas condiciones nos permiten proponer un proyecto de fuerte impacto económico, social y ambiental, de generación de energía renovable a través de bosques energéticos. (FOCER 2002)

**1. Descripción de fuentes de energía.** Una parte de la energía que llega a la Tierra procedente del Sol es absorbida por las plantas, a través de la fotosíntesis, y convertida en materia orgánica con un mayor contenido energético que las sustancias minerales. A pesar de ello, su enorme dispersión hace que sólo se aproveche una mínima parte de la misma. Entre las formas de biomasa más destacables por su aprovechamiento energético destacan los combustibles energéticos (caña de azúcar, remolacha, etc.) y los residuos (agrícolas, forestales, ganaderos, urbanos, lodos de depuradora, plantas, etc.). (FOCER 2002)

La bioenergía puede ser almacenada y ofrece grandes posibilidades, puede ser suministrada en cualquier momento para cubrir variadas necesidades. Prácticamente, cada país tiene acceso al uso de la biomasa. El uso de la biomasa tiene la ventaja de ayudar a reducir los problemas municipales de eliminación de residuos mientras que suministra energía. La producción de bioenergía se basa en una producción de energía descentralizada y crea un ciclo material y energético. Probablemente, el mayor beneficio del uso de la biomasa es que no contribuye a la contaminación por efectos de gas invernadero ya que emite dióxido de carbono neutral. Solamente desprende la cantidad de dióxido de carbono que las plantas han absorbido previamente mientras crecían. (FOCER 2002)

La utilización de esta fuente de energía renovable, reemplaza y reduce el uso de combustibles fósiles, que emiten grandes cantidades de dióxido de carbono. Asimismo el costo de producir biomasa en comparación con la compra de combustibles fósiles es muy bajo. (FOCER 2002)

Todo proceso de generación de energía, tiene sus desventajas y la biomasa no es una excepción. Quizá el mayor problema que pueden generar los procesos, es la utilización de cultivos de vegetales comestibles (como el maíz, muy adecuado para estos usos), o el cambio de cultivo en tierras, hasta ese momento dedicadas a la alimentación, al cultivo de vegetales destinados a producir biocombustibles. La incineración puede resultar peligrosa y produce sustancias tóxicas. Por ello se deben utilizar filtros y realizar la combustión a temperaturas mayores a los 900 °C. No existen demasiados lugares idóneos para su aprovechamiento ventajoso. Al aumentar la demanda por esta fuente energética se financia la tala de bosques nativos para ser reemplazados por cultivos de productos con destino a biocombustible. (FOCER 2002)

Existe un gran número de fuentes de bioenergía disponibles, diferenciadas en la manera en que son suministradas, en las características del combustible, y en las opciones para su utilización. La bioenergía en sólidos, proviene de residuos de madera, residuos de productos vegetales y residuos de tallos o cereales. La bioenergía en gas, proviene del biogás, gas de aguas residuales y gas de vertederos. Por último, la bioenergía en líquido, proviene de los aceites vegetales, biodiesel, bioetanol y biocombustible. (FOCER 2002)

**2. Proceso de obtención de biomasa.** Existen básicamente dos tecnologías a las que se puede recurrir para la obtención de biomasa, que son: generación de biogás mediante proceso de gasificación o combustión directa en caldera. Al día de hoy las plantas con caldera y turbina de vapor son las más comunes. (Carrillo 2004: 5)

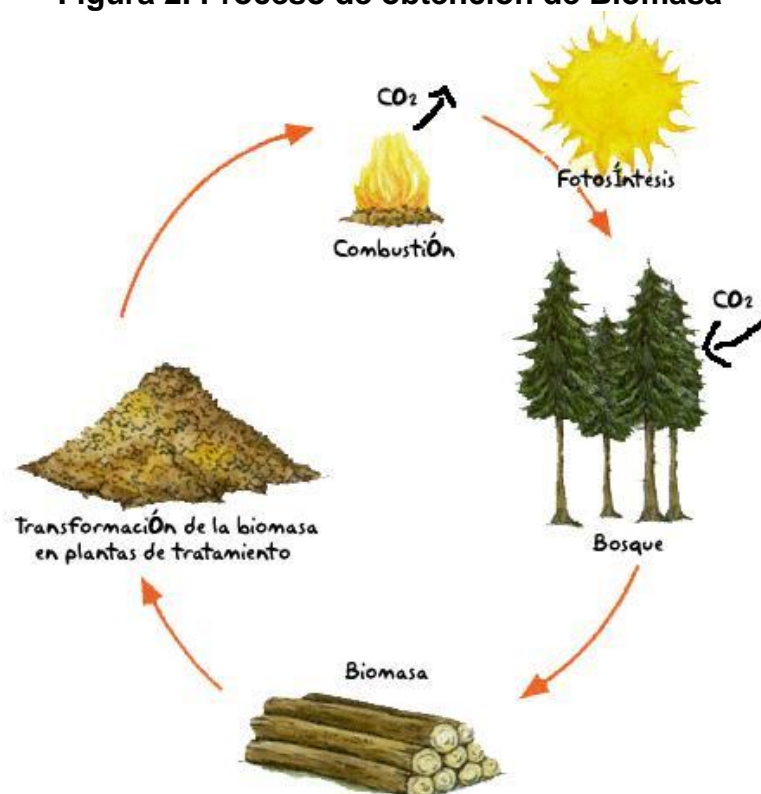
El proceso de gasificación consiste en generar biogás en un digestor a partir de la biomasa forestal. Este biogás alimentará a uno o varios motores que accionan los correspondientes generadores obteniendo así energía eléctrica. La eficiencia del proceso se puede incrementar mediante la cesión del calor sobrante (humos de escape, refrigeración del motor) que no se emplee en el digestor a otros procesos (generación de agua caliente, calefacción, otros procesos industriales, etc.). (Carrillo 2004: 5)

El proceso de combustión en caldera consiste en la adecuación de la biomasa mediante secado y astillado para conseguir un combustible homogéneo que pueda alimentar al generador de vapor. El vapor de alta presión generado acciona una turbina y posteriormente es condensado hasta volver a tener agua que pasa a la caldera para ser vaporizado de nuevo. La turbina acciona el generador y así se obtiene la energía eléctrica que es el fin último de una planta de este tipo. (Carrillo 2004: 5)

Los procesos tradicionales de este tipo, generalmente, son muy ineficientes porque mucha de la energía liberada se desperdicia y pueden causar contaminación cuando no se realizan bajo condiciones controladas y seguras. Estos resultados se podrían disminuir considerablemente con prácticas mejoradas de operación y un diseño adecuado del equipo. Por ejemplo, secar la biomasa antes de utilizarla reduce la cantidad de energía perdida por la evaporación del agua y para procesos industriales, usar pequeños pedazos de leña y atender continuamente el fuego supliendo pequeñas cantidades resulta en una combustión más completa y, en consecuencia, en mayor eficiencia. Asimismo, equipos como los hornos se pueden mejorar con la regulación de la entrada del aire para lograr una combustión más completa y con aislamiento para minimizar las pérdidas de calor. (Carrillo 2004: 5)

A continuación se muestra un típico proceso de obtención de biomasa, esta figura ejemplifica el proceso de obtención de biomasa y su transformación en energía simple.

**Figura 2. Proceso de obtención de Biomasa**



**3. Maquinaria necesaria.** La generación de electricidad de una central de biomasa, requiere cierta maquinaria para poder convertir esta desde un inventario forestal o un desecho de madera, hasta una fuente energética utilizable. Generalmente la energía que se desprende durante la combustión de biomasa sólida en sistemas modernos de calefacción se emplea de manera muy eficiente. La madera que es la fuente de energía primaria (puede existir la necesidad de un combustible de apoyo para mantener el ciclo) normalmente se transforma en pequeños trozos de troncos, astillas y pellets de madera. Para quemar la madera, se han fabricado hornos y calderas manuales, semiautomáticos y automáticos que poseen un sistema de quemado regulado. Un sistema de quemado de biomasa puede alcanzar un grado de eficiencia de hasta el 90% con bajos niveles de emisión. (Agencia Alemana de Energía 2010:26)

La maquinaria principal requerida es una astilladora de madera, ya que la materia prima debe tener un tamaño de aproximadamente 2cm. Así mismo, es necesario una maquinaria de secado, ya que para obtener más poder caloríficos, la materia prima que recibe la caldera, debe tener solamente un 10% aproximado de humedad. (Agencia Alemana de Energía 2010:26)

De existir la posibilidad de fabricar briquettes de biomasa para la venta, es necesaria la adquisición de maquinaria especializada para prensado. Existen dos tipos de maquinaria de prensado, mecánico e hidráulico, cada maquinaria tiene sus ventajas y desventajas y a continuación se muestra una tabla comparativa. (Agencia Alemana de Energía 2010:26)

**Tabla 1. Comparativo maquinaria de prensa hidráulica y mecánica**

	Hidráulico	Mecánico
Capacidad (kg/hora)	50-1600	200-3000
Tamaño Materia Prima (cm)	<2	<1
Humedad (%)	<15	8-10

De acuerdo a los requerimientos de la planta en análisis, se tomara la utilización de una maquinaria de prensa hidráulica, ya que aunque de menor capacidad, implica menor mantenimiento y asimismo no requiere de un proceso de enfriamiento como lo necesita el material procesado mecánicamente. (Agencia Alemana de Energía 2010:26)

Alternativamente a la producción de briquettes es necesaria una caldera (planta) para generar electricidad, conectada a un recuperador de calor para ser condensado el vapor que se utiliza para la turbina dentro de la caldera. A continuación se lleva a un condensador para la reutilización del vapor de agua, y un generador que utiliza este calor del vapor de agua. Por último, los transformadores convierten esta energía, en electricidad utilizable para varios procesos. (Agencia Alemana de Energía 2010:26)

Para asegurar un ciclo de producción fluido, puede ser necesario la utilización de transportadores y ciclones para movilizar el material de una máquina a otra. Asimismo se encuentra la necesidad de almacenamiento del producto seco sin procesar y del producto final. Se recomienda que se almacene en silos y el producto final en bodega sellada para así no absorber la humedad del medio ambiente. (Agencia Alemana de Energía 2010:27)

A continuación se muestra un típico proceso de generación de electricidad por medio de biomasa, desde el cultivo y recolección de madera hasta su transformación en electricidad.

**Figura 3. Generación de electricidad por medio de biomasa**



### E. Demanda energética, leyes relacionadas e impuestos

Los procesos/alternativas propuestos, se llevan a cabo de acuerdo a las necesidades del mercado en Guatemala. Se investigó las fuentes informativas en cuanto a la demanda de los productos nuevos que se estarían produciendo, así como leyes e impuestos aplicables.

**1. Demanda por Briquettes de biomasa.** Es importante mencionar que en el mercado local, la utilización de briquettes como fuente generadora de energía no es común. Los briquettes de biomasa podrán ser utilizados para la generación de energía principalmente en el sector industrial al sustituir el bunker en calderas por los briquettes, así como la utilización de briquettes en otros procesos, tales como: secado de cardamomo y café. Además del sector industrial, en otros países, principalmente los europeos la utilización de briquettes y/o pellets es común a nivel doméstico.

Es decir, la demanda para la utilización del briquette como fuente alterna de energía renovable es prácticamente ilimitada. Como se verá más adelante, en este estudio se concluye la factibilidad de producir 20,000 toneladas de briquettes (en función del inventario forestal existente y de la sostenibilidad del mismo). Durante el 2010, sólo un ingenio consumió más de 100,000 toneladas de madera para alimentar sus calderas en la generación de energía, por lo tanto existe la demanda por madera que fácilmente puede ser sustituida con la biomasa proveniente del briquette, asimismo está dispuesta a adquirir la biomasa, a un precio ya pactado.

**2. Generación de electricidad.** La generación de electricidad por medio de recursos naturales y renovables, ha sido un tema de gran controversia en Guatemala. Muchos creen que estos proyectos impactaran negativamente el medio ambiente más que ayudar a cuidarlo. En realidad los proyectos de energía renovable son los de menor impacto ambiental realizando las mitigaciones necesarias y el manejo adecuado de los recursos naturales. La generación de electricidad por medio de recursos renovables podrá enmarcarse dentro de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable.

**a. Demanda por suministro de Energía Eléctrica.** La generación local de energía en Guatemala para el año 2010 alcanzo los 8,276.803 GWh, de los cuales: 47.60 % es de origen hidráulico, 23.72% de origen de combustible bunker, 13.09% de origen carbónico, 12.12% de biomasa y 3.43% cogeneradores, diesel y

geotérmica. El consumo local de energía alcanzó los 8,148.30 GWh. (Ministerio de Energía y Minas Guatemala 2010)

Por lo tanto, la generación de electricidad por medio de biomasa, sí tiene presencia en el mercado de generación en Guatemala y sí es posible llevar a cabo la venta de electricidad por medio de la combustión directa de la biomasa del árbol de melina.

**b. Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable.** En el año 2003, el Congreso de la República de Guatemala aprobó la ley, Decreto Número 52-2003, Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable. Esta ley considera el artículo 129 de la Constitución Política de la República, donde se declara de urgencia nacional la electrificación del país, en la cual podrá participar la iniciativa privada. Así como la consideración que Guatemala cuenta con recursos naturales renovables suficientes en cantidad y calidad, y que su aprovechamiento otorgara al país una mayor independencia en la compra de combustibles fósiles, facilitando con esto el suministro de energía económica a favor del consumidor final. (Congreso de la República de Guatemala 2003)

Esta ley cuenta con 8 artículos y especialmente el artículo 5 - Incentivos, es de conveniencia para este caso. En este artículo se detallan los incentivos que pueden obtener los productores de energía eléctrica por medio de recursos naturales. Se presenta la exención de derechos arancelarios para las importaciones, incluyendo el impuesto al Valor Agregado, sobre importaciones de maquinaria y equipo. Exención del pago de impuestos sobre la renta e impuesto a las empresas mercantiles y agropecuarias. Estas exenciones se otorgan únicamente a las personas que desarrollen directamente los proyectos y solamente por la parte que corresponda a dicho proyecto, ya que la exención no aplica a las demás actividades que realicen. (Congreso de la Republica de Guatemala 2003)

Asimismo, para aprovechar estos incentivos, la empresa o interesado debe presentar la solicitud al Ministerio de Energía y Minas, durante los periodos de pre inversión y de construcción. También debe reconocer el solicitante que estos incentivos tienen una duración de diez años, por lo tanto al cumplirse los estos, se deben cubrir los impuestos necesarios de acuerdo a las operaciones de la generadora. (Congreso de la República de Guatemala 2003)

Por último, facilita la venta de esta energía eléctrica producida por medio de recursos renovables, frente a las empresas de suministro de energía eléctrica. El mercado de suministros de energía eléctrica es muy competitivo y los precios de energía eléctrica por medio de recursos renovables son más favorables que los precios de energía eléctrica por medio de combustibles fósiles. Así se asegura que las empresas que producen energía verde, tienen las mismas oportunidades y algunas veces mejores oportunidades de vender la energía eléctrica para incentivar la búsqueda de un mejor ambiente y la disminución del uso de combustibles fósiles dañinos. (Congreso de la República de Guatemala 2003)

**3. Impuestos.** En este estudio el tema impositivo, fue analizado de acuerdo a los parámetros siguientes:

Reconociendo que ambos procesos operativos tienen mayores ventas que los costos totales operativos, por lo tanto el Impuesto al Valor Agregado, -IVA-, se debe entregar al ente tributario. Es así como, el IVA no es considerado para este análisis de factibilidad por que se llega a un balance de dicho impuesto al agregar el mismo, al precio de venta al consumidor final. (EduFinanzas 2007)

El Impuesto Sobre la Renta --ISR-- lo paga cualquier persona natural o jurídica que preste un servicio, así como también los propietarios de negocios, empresas o sociedades y los empleados que ganen más de Q36,000.00 al año. Por

lo tanto, se considera el régimen de ISR de cubrir el 31% de las utilidades de la empresa, descontando los gastos totales anuales. (EduFinanzas 2007)

La Ley de Impuesto de Solidaridad –ISO-- establece que este es un impuesto que debe ser pagado por quienes realicen actividades mercantiles o agropecuarias en el territorio nacional y obtengan un margen bruto superior al cuatro por ciento (4%) de sus ingresos brutos. Este impuesto se aplica al ISR, es decir, se acredita al pago de impuesto sobre la renta. Si el ISR es mayor que el impuesto de solidaridad (1%), no debe ser contemplado como un impuesto separado, sino que, como parte del ISR. (EduFinanzas 2007)

## VI. SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

### A. Descripción general de la Empresa

La planta procesadora de productos de madera de este estudio, se encuentra ubicada en la costa norte de Guatemala en el departamento de Izabal, en el área conocida como Rio Dulce. Es una planta basada en el manejo y procesamiento del árbol o arbusto de Melina (*Gmelina Arborea*), este árbol es nativo del sur de China, India, Sudeste de Asia y las Filipinas. Las plantaciones típicamente se establecen en zonas tropicales con suelos muy bien drenados y fértiles, comúnmente, la rotación de plantación varía entre cinco y ocho años. Se han realizado muy pocas operaciones de manejo de plantación y, por ende, la mayor parte de las plantaciones se han convertido en áreas poco productivas de bosques mixtos y arbustos, que dificultan el crecimiento adecuado de la Melina.

**Figura 4. Bosque disponible y crecimiento inadecuado de la Melina**



La melina es un arbusto de rápido crecimiento que incluso se corta y vuelve a crecer y es una parte íntegra de la rentabilidad de una planta de cosecha de melina. El recrecimiento ocurre naturalmente, sin necesidad de procesamiento especial. A continuación se muestran ejemplos de rebrote de un árbol de melina después de ser cortado.

**Figura 5. Recrecimiento de la Melina después de ser cortada**



El propósito de esta planta es generar y distribuir beneficios a largo plazo derivados de plantaciones forestales en Guatemala y su transformación en productos de madera sólida de alta calidad. Las actividades incluyen la adquisición de tierras, la plantación de especies comerciales de árboles, el mantenimiento de los bosques maderables, y la cosecha de bosques de madera y actividades conexas. Las extensas plantaciones, que se encuentran en fase de producción y el suministro de madera, son sostenibles a largo plazo. La compañía es propietaria de aproximadamente 1,374 hectáreas de tierra ubicados en dos parcelas. A través de un equipo industrial especializado (el cual se detalla más adelante) se elaboran tableros sólidos (no aglomerados) de madera de diferentes grosores y con dimensiones de hasta 4 pies x 8 pies. Estos tableros son materia prima para otros productos de madera tales como zócalos, marcos para puertas y molduras para techo y decoración. Los compradores de estos tableros son principalmente carpinteros e industrias de productos de madera que utilizan dichos tableros como materia prima.

A continuación se muestra una fotografía aérea de los bosques circunvecinos y ubicación de la planta en Izabal.

**Figura 6. Ubicación de bosques y Planta, vista aérea**



**Figura 7. Troncos de Melina y tablero sólido terminado**



Debido a que dichos tableros son de madera sólida y dada sus características de durabilidad y resistencia a la intemperie es posible la elaboración de vivienda popular con dichos tableros.

**Figura 8. Aplicación de tableros en vivienda popular y puertas**



Su principal competencia es el tablero de aglomerado (plywood) y tiene mucha incidencia en el mercado la comercialización y el desconocimiento de la existencia de estos tableros de madera sólida.

El aserradero y la planta industrial se encuentran en Río Dulce, aproximadamente a 265 km de la ciudad de Guatemala, y a sólo 50 km de Puerto Santo Tomás (facilidad de exportación). El terreno se encuentra ubicado a lo largo de uno de los mejores sistemas de carretera en Guatemala, y la distancia máxima entre las plantaciones forestales y la planta industrial es de 15 km. La distancia a las carreteras es entre 0 km y 15 km. Esta ventaja, de tener plantaciones ubicadas a lo largo de la carretera principal, tiene un enorme impacto positivo en los costos de la cosecha.

Además de los activos forestales propios de la empresa, se tiene un contrato de explotación con plantaciones vecinas por aproximadamente 1,630 hectáreas. La compañía comenzó la extracción de madera para el mercado de tarimas y luego trató de generar valor agregado en el procesamiento de productos especializados como es el mercado de tableros sólidos de madera. En el 2004 la compañía

estableció un aserradero y ha invertido en la operación industrial, la adquisición de hornos para secar la madera y una línea completa de maquinaria (OptiCut (Seleccionadora), Finger Joint, Molder (Molduradora) y Press (Prensa)) para la producción de productos de alta calidad.

La compañía decidió cerrar, por el momento, sus operaciones, detener la cosecha y la producción de productos de madera. En estos momentos se encuentra en el análisis de toma de decisión sobre qué dirección se debe ir en el futuro: continuar en la misma ruta elaborando productos de madera o cambiar la dirección de la empresa e ir a por la producción de briquettes o una combinación de ambos. Adicionalmente podría considerar, de ser rentable, la implementación de una Planta de Generación de Energía Eléctrica para vender dicha energía a terceros.

La compañía está interesada en encontrar la manera de desarrollar el valor de sus activos forestales. Esto se puede hacer de cualquier manera que genere el mayor valor para la empresa.

## **B. Descripción de maquinaria actual**

La maquinaria principal utilizada en la planta estudiada es la siguiente:

- Descortezadora: la función de esta máquina es separar la corteza de la madera obteniendo residuos que pueden tener uso para mayor valor agregado. Asimismo remueve materiales que pueden dañar las sierras principales, como piedras y metales.

**Figura 9. Descortezado**



- Sierra madre/principal: esta máquina tiene como función producir material homogéneo para el dimensionamiento final con otras sierras, usualmente en un rectángulo manejable para ser procesado.
- Opticut: realizar los cortes paralelos a los referenciados por la sierra madre. Esta máquina especializada efectúa cortes de largos fijos, eliminación de defectos y optimización de la madera. Incluye una mesa perpendicular a la sierra y un sistema de alimentación.

**Figura 10. Opticut**



- Sierra múltiple: la función de esta máquina es la de realizar al mismo tiempo, varios cortes perpendiculares a los de referencia distanciados entre sí por el grueso de la tabla que se quiere obtener.
- Joint-Finger: es una máquina especial que lleva a cabo un conjunto de cortes complementarios rectangulares en dos piezas de madera, que luego se pegan. Es de las maquinas más comunes que se utilizan para formar pedazos largos de madera en tablas sólidas.

**Figura 11. Joint-Finger**



- Caldera: esta máquina tiene como función el crear vapor para alimentar los Hornos de Secado por medio del uso de desechos del campo y de la planta de productos de madera, para realizar el secado a la madera con el objeto de disminuir el porcentaje de humedad a un nivel aproximado de 10% de humedad.

**Figura 12. Caldera y hornos de secado**



- Prensa: el producto que pasa los estándares de calidad, se encuentra en piezas pequeñas, ya que el opticut, tuvo que cortar las impurezas. La prensa, pega estas piezas al tamaño especificado con una goma especial que es secada ahí mismo a base de microonda.

**Figura 13. Prensa**



### **C. Producción de energía**

La mayor parte de la producción de energía presente en la industria guatemalteca se basa en combustibles fósiles y no hay utilización tradicional de biomasa suficiente, excepto en la industria de producción de azúcar donde gran parte de la energía se produce por medio de la utilización de exceso de biomasa

(bagazo) del proceso de producción. La planta de madera de este estudio, utilizaba energía eléctrica comprada para mantener su proceso de producción, es decir utilizaba la energía comprada para la maquinaria del proceso. Es auto-sostenible en cuanto se trata de la caldera para secado del material, en donde se quema los desechos y aserrín del proceso de producción para generar el vapor de agua que remueva la humedad de la madera procesada.

En el futuro, los briquettes de madera pueden ayudar a Guatemala a reducir su dependencia de combustibles fósiles y aumentar la industria de la energía basada en biocombustibles. La utilización de la biomasa compite con los combustibles de madera derivados, como chips de madera y con combustibles fósiles como bunker y carbón; por ende, el precio de venta de los briquettes es la parte crítica de la comercialización de este tipo de producto. A continuación se muestra una tabla comparativa de las propiedades de algunos tipos de combustibles y sus precios estimados.

Comparado con los chips de madera, los briquettes ofrecen ventajas de transporte significativos ya que el bajo contenido de humedad implica que se puede transportar mayores cantidades de producto debido a que el producto se encuentra mucho más denso. En cuanto a precios, el carbón tiene la ventaja de ser mas barato y que es un producto de adquisición fácil pero dañino al medio ambiente, y se estima que con el tiempo el precio ira subiendo por altas demandas y poca oferta del producto. (Biomass Energy Center 2008)

**Tabla 2. Comparativo propiedades de combustibles**

	Briquettes	Chips de madera	Carbón	Bunker
Humedad (%)	6-10	30-50	10	0.1-0.5
Contenido cenizas (%)	0.5-2	0.5-2	14	0.04

**Continuación tabla 2. Comparativo propiedades de combustibles**

	Briquettes	Chips de madera	Carbón	Bunker
Contenido sulfuro (%)	<0.01	<0.01	<0.5	1-2.5
Precio (\$) por millón de BTU	6.00-8.00	3.50-7.00	3.50-6.00	12.00-18.00

La comprobación de la factibilidad de la biomasa como una fuente de energía renovable, debe ser analizada desde el punto de vista de sus propiedades energéticas en comparación con otras fuentes de energía. A continuación se muestran los valores energéticos de algunos combustibles utilizados comúnmente. La comparación para probar la factibilidad de uso de la biomasa como fuente de energía renovable será una comparación entre briquettes con chips de madera, carbón y aceite bunker. (Biomass Energy Center 2008)

**Tabla 3. Comparativo valores energéticos de combustibles**

	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Valor Calorífico Neto Kwh/kg	Densidad de Energía por volumen Kwh/m <sup>3</sup>
Briquettes	650	4.8	3100
Chips de madera	250	3.5	870
Carbón	850	7.5-8.6	6400-7300
Bunker	845	11.8	10000

Energéticamente, se necesitan 3kg de biomasa para obtener el mismo potencial que 1 litro de gasolina.

De acuerdo a los datos mostrados en la tabla anterior, el carbón y el bunker son los combustibles que mayor valor calorífico y mayor densidad de energía proveen cuando son utilizados, aunque son los combustibles que mayor emisión de carbono producen cuando son quemados, asimismo por no ser una fuente de energía "verde" las emisiones provenientes de quemar estos combustibles causan que el efecto invernadero se acelere. Por ende, aunque la biomasa no tiene el mismo valor energético que varios combustibles fósiles, es una de las fuentes de energía renovables más limpia en Guatemala. Así, va a ser necesario requerir un poco más de biomasa para llegar a la misma energía que el bunker, pero se estaría contribuyendo a un mejor medio ambiente y produciendo menores emisiones nocivas a la salud de las personas. (Biomass Energy Center 2008)

**1. Biomasa generada.** El árbol de Melina, tiene un peso promedio verde de  $500 \text{ kg/m}^3$ <sup>2</sup> a 50% de humedad, por lo que implica que se obtiene aproximadamente  $275 \text{ kg/m}^3$  de madera en seco. Para cubrir una producción aproximada de 20,000 toneladas de briquettes a una humedad de 10%, se necesita aproximadamente 36,000 toneladas de madera verde a 50% de humedad. Adicionalmente se requeriría aproximadamente 8,000 toneladas anuales de biomasa para la energía necesaria para el secado del producto.

Para llevar a cabo una típica operación en la planta, 1.8 toneladas de biomasa (50% de humedad) llevaran a una tonelada de briquettes (10% de humedad). De acuerdo al inventario forestal que tiene a su disposición la planta, se tiene materia prima en total de 36,000-37,000 toneladas (50% de humedad), por lo que la planta tendría una capacidad de 15,000-16,000 toneladas de biomasa producidas al año. Esta totalidad proviene de los bosques que tienen a disposición, para cubrir la demanda total de las 20,000 toneladas, el resto se debe obtener de los bosques cercanos con los cuales se tienen contratos de explotación forestal. Esta cantidad no incluye las 8,000 toneladas necesarias para el secado del mismo

---

<sup>2</sup> Fuente: Royal Botanical Gardens, Asia

producto en consideración. En datos estimados, se necesitaría un total de 44,000 toneladas anuales de materia prima para cubrir todas las necesidades, incluyendo la energía necesaria para el secado.

#### **D. Utilización de energía eléctrica actual**

La empresa cesó sus operaciones hace unos meses, por lo que no existe ningún tipo de uso de energía actual. De lo contrario se estaría utilizando energía eléctrica para las diferentes maquinarias del proceso industrial, es decir las sierras, descortezadoras y demás equipo. Asimismo se utilizan residuos del proceso de producción (aserrín, corteza y desperdicio de piezas no utilizadas o mal producidas) para activar la caldera.

En fase de operación la empresa utilizaba 12,000 galones de diesel al mes equivalente a 488.4 mega watts por hora.

En la actualidad la empresa no mantiene ningún tipo de operaciones, y uno de los objetivos de este trabajo es el de poder ofrecer opciones para continuar con la operación. Como se indicó anteriormente, una opción es continuar con la producción de tableros, pero creando su propia energía eléctrica por medio de la quema de cierta cantidad de madera en forma de biomasa. De lo contrario si la decisión fuera no continuar operando y produciendo tableros, la otra opción sería producir briquettes y comercializar los mismos principalmente a ingenios de azúcar y a otros posibles consumidores industriales. Asimismo, se podría considerar la posibilidad de convertirse en una generadora de energía renovable.

#### **E. Factibilidad del uso de biomasa como generador de energía renovable**

De acuerdo con la capacidad de producción de materia prima que actualmente puede realizar la planta, y considerando las aportaciones energéticas y ambientales de la biomasa, la planta si tiene la opción de utilizar la biomasa como

un generador de energía renovable o si lo desea para la producción de briquettes para venta.

Energéticamente, se necesita el triple de biomasa para la misma potencia energética que del combustible fósil, pero el ahorro en emisiones dañinas al ambiente y la facilidad de la obtención de la biomasa, más que compensan el hecho que su potencia energética sea menor.

La biomasa se presenta como una fuente factible para la generación de energía eléctrica o para usos variados en la planta estudiada, como podría llegar a ser la venta de briquettes. Por ende, técnicamente la biomasa es una fuente viable y se debe de utilizar como un sustituto para el uso de combustibles fósiles.

## VII. DESCRIPCIÓN Y PRESENTACIÓN DE PROCESOS PROPUESTOS

### A. Proceso actual de generación de biomasa

La planta no está aprovechando actualmente sus recursos madereros disponibles en forma eficiente, por lo que todo el bosque que se tiene, es considerado biomasa. Por ende, aunque no exista un proceso actual de generación de biomasa, todo el bosque puede ser convertido en biomasa. Asimismo, no se ha llevado un mantenimiento adecuado de los bosques y esto ha causado que ocurra crecimiento desordenado de la Melina. En el caso del uso de biomasa, no hay problema que la Melina esté en mal crecimiento, ya que de cualquier manera debe ser astillada para tener un tamaño adecuado para ser quemado. Sin embargo, se pueden mejorar la forma de cultivo, entresacado y poda para eficientizar el crecimiento de la biomasa.

Debido a esta falta de mantenimiento y manejo de los bosques, han ocurrido también crecimientos de otras plantas, matorrales y arbustos, que en cierto modo impiden el adecuado crecimiento de la melina, pero pueden ser utilizados para mayor producción de biomasa. Todo lo que se encuentra en el bosque, ya sea melina u otro crecimiento verde, puede ser utilizado para generación de energía.

**1. Convertibilidad de biomasa en energía eléctrica.** Antes de que la biomasa pueda ser usada para fines energéticos, tiene que ser convertida en una forma más conveniente para su transporte y utilización. A menudo, la biomasa es convertida en formas derivadas tales como carbón vegetal, briquettes, gas, etanol y electricidad. Las tecnologías de conversión incluyen desde procesos simples y tradicionales, como la producción de carbón vegetal en hogueras bajo tierra; hasta procesos de alta eficiencia como la dendro-energía y la cogeneración.

La conversión de la biomasa en energía utilizable se lleva a cabo por medio de procesos de combustión directa, procesos termoquímicos y procesos

bioquímicos. En el caso de esta planta, la generación de energía utilizable se llevará a cabo por medio de procesos de combustión directa.

**2. Eficiencia de la biomasa.** La biomasa consiste, principalmente, de carbono y oxígeno. También contiene hidrógeno, nitrógeno, azufre, ceniza y agua, dependiendo de la humedad relativa, aunque en este caso, se desea la menor cantidad de húmeda, aproximadamente 10%. Cuando ésta se quema, se efectúa una reacción química que combina su carbono con oxígeno del ambiente, formándose dióxido de carbono y combinando el hidrógeno con oxígeno para formar vapor de agua. Cuando la combustión es completa, o sea la biomasa se quema totalmente, todo el carbono se transforma en dióxido de carbono.

Se presenta el consumo de la biomasa como un proceso casi perfectamente eficiente, ya que los árboles y plantas que están creciendo capturan nuevamente el CO<sub>2</sub> de la atmósfera y, al usar la biomasa en forma sostenible, en términos netos, no se agrega CO<sub>2</sub> a la atmósfera. No obstante, cuando la combustión no es completa, se forma monóxido de carbono (CO), hidrocarburos, N<sub>2</sub>O y otros materiales. Estos sí pueden generar impactos serios en la salud de los usuarios, ya que también son gases de efecto invernadero, por lo que se debería minimizar su formación.

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

- Cuando la entrada de aire no es adecuada, pues no hay suficiente oxígeno disponible para transformar todo el carbono en CO<sub>2</sub>. Esto puede ser causado por el diseño inadecuado del equipo, la falta de ventilación y la sobrecarga con el combustible.
- Cuando la biomasa tiene una humedad alta, o sea está demasiado mojada; entonces, la temperatura de combustión no es suficientemente elevada como para completar las reacciones químicas.

## **B. Proceso propuesto de cogeneración y fabricación de briquettes**

La empresa debe tomar una decisión en cuanto a que camino debe tomar ahora que ha decidido cesar sus operaciones temporalmente. Aunque tiene la posibilidad de continuar con sus operaciones anteriores y seguir produciendo los tableros y productos de madera, no es recomendable que lo siga realizando de la misma forma. Por ende, se propone un camino posible que es de establecer un proceso de cogeneración y de fabricación de briquettes.

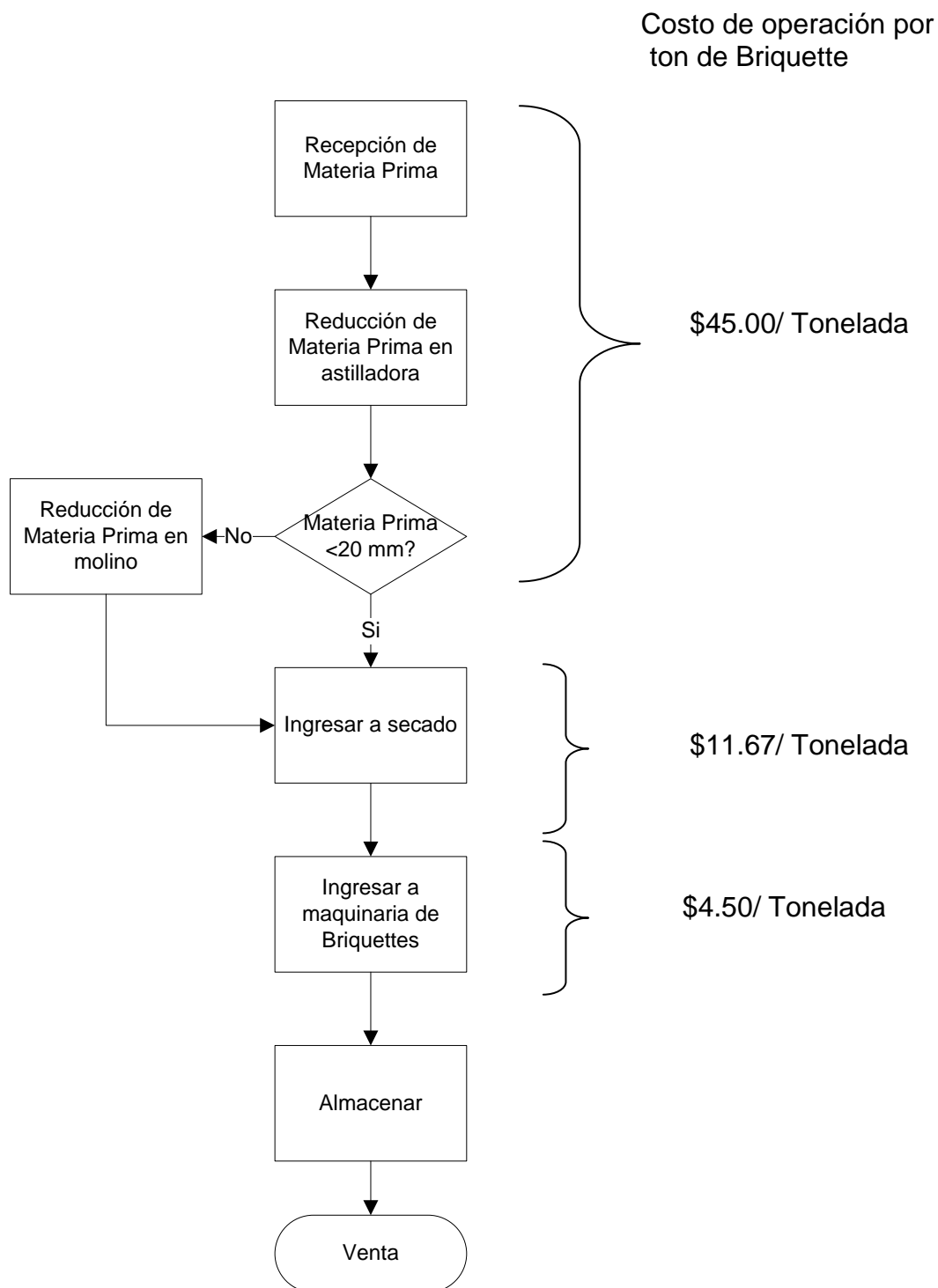
La cogeneración consiste en la producción conjunta de energía térmica y eléctrica. Se basa en el aprovechamiento de los calores residuales de los sistemas de producción de electricidad. En este caso, la caldera que actualmente tiene la empresa, serviría para este proceso de cogeneración, solamente es necesario un procesador para recibir esta electricidad y transformarla para ser utilizada para las demás máquinas que requieren de energía eléctrica para el proceso. El calor que se generaría, se utiliza para el secado adecuado de la biomasa, cuando se debe reducir de una humedad total de 50% a una humedad total del 10%.

**1. Descripción del proceso.** Este proceso, comienza como un proceso normal de clasificación de materia prima, ya que se estará extrayendo completamente el bosque disponible, incluyendo plantas y arbustos además de los árboles de la melina; es recomendable una clasificación en material verde, como lo es plantas, hojas y hierbas, para que este material sea utilizado en la producción de energía para ser utilizada en la planta y en la producción de briquettes. Utilizando así, la melina y productos de mayor calidad para el producto final que son los briquettes procesados. Ya que solamente se estaría quemando material que es adecuado para ser procesado en briquettes, no es necesario llevar a cabo un estudio de la mezcla óptima del briquette.

Para facilitar la visualización del proceso de cogeneración y fabricación de briquettes, se utiliza un diagrama de flujo que es una representación gráfica de un algoritmo o proceso. Con sus costos de operación de cada etapa por tonelada de briquette. Estos diagramas utilizan símbolos con significados bien definidos que

representan los pasos del algoritmo, y representan el flujo de ejecución mediante flechas que conectan los puntos de inicio y de término. (Fundibeq 2003)

**Gráfico 1. Diagrama de flujo**  
Producción de Briquettes de biomasa  
método propuesto



**2. Maquinaria requerida.** Las maquinarias propuestas para el proceso de fabricación de briquettes, son maquinas preliminares de acuerdo a las necesidades de la planta, las estimaciones de consumos de energía y capacidad de producción son provenientes de los fabricantes de cada maquinaria y son valores estimados promedios.

**a. Reducción de Materia Prima.** La producción de briquettes de biomasa, necesita de cierta maquinaria para llevar la materia prima verde hasta un producto terminado de acuerdo a especificaciones. Se comienza con una reducción de la materia prima a tamaño adecuado. El diámetro del árbol de residuo forestal tiene que tener un diámetro de aproximadamente 100-200 mm con un máximo de 400mm.

Este paso debe utilizar dos maquinarias, una astilladora de madera que recibirá los troncos de melina, así como los residuos verde y productos de desecho del aserradero. Asimismo será necesaria una máquina de molino de martillo, para disminuir aun más el tamaño de la materia prima para asegurarse de que las partículas sean de tamaño adecuado para quemado y para transformación en briquettes.

La máquina propuesta para la astilladora de madera tiene una capacidad de 10,000 -12,000 kg/hora de madera "verde". Capaz de reducir a un tamaño de <30 mm, con un consumo aproximado de 10-14 kwh/tonelada. <sup>3</sup>

La máquina propuesta para el molino de martillo, tiene una capacidad de 3,600 - 9,000 kg/ hora de madera astillada. Esta máquina presenta un consumo aproximado de 14-18 kwh/tonelada. <sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> Pezzolato S.p.A., PZ Series disc chipper

<sup>4</sup> Muyang SFSP Series Herbage Fine Grinding

**Figura 14. Máquina de astillado y molino de martillo**



**b. Secado.** La secadora tiene una capacidad aproximada de 2,500 kg/hora y reduce el contenido de humedad de 50%-60% a un contenido de aproximadamente 10%. Se utilizaría bunker como agente activador de la caldera, y se le ingresaría la biomasa que es reservada para este proceso (8,000 toneladas anuales), con un consumo aproximado de 7-9 kwh/tonelada.<sup>5</sup> Se espera una eficiencia de uso de energía y calor de un 60-80% en condiciones adecuadas.

**Figura 15. Máquina de secado**



<sup>5</sup> Jay Khodiyar Machine Tools

**c. Briquettes.** Como fue analizado anteriormente, para las necesidades de la planta, es recomendable el utilizar una maquina de briquette hidráulica. Para cubrir la demanda estimada anteriormente, es necesaria una capacidad de 3,000 kg/hora. Las prensas hidráulicas tienen una capacidad máxima de 1,600 kg/hora, por lo que se deben adquirir dos prensas (2 de 1,500 kg/hora).

El consumo de electricidad mayor ocurre en este proceso con un aproximado de 40-50 kwh/tonelada.<sup>6</sup>

**Figura 16. Prensa hidráulica y producto resultante**



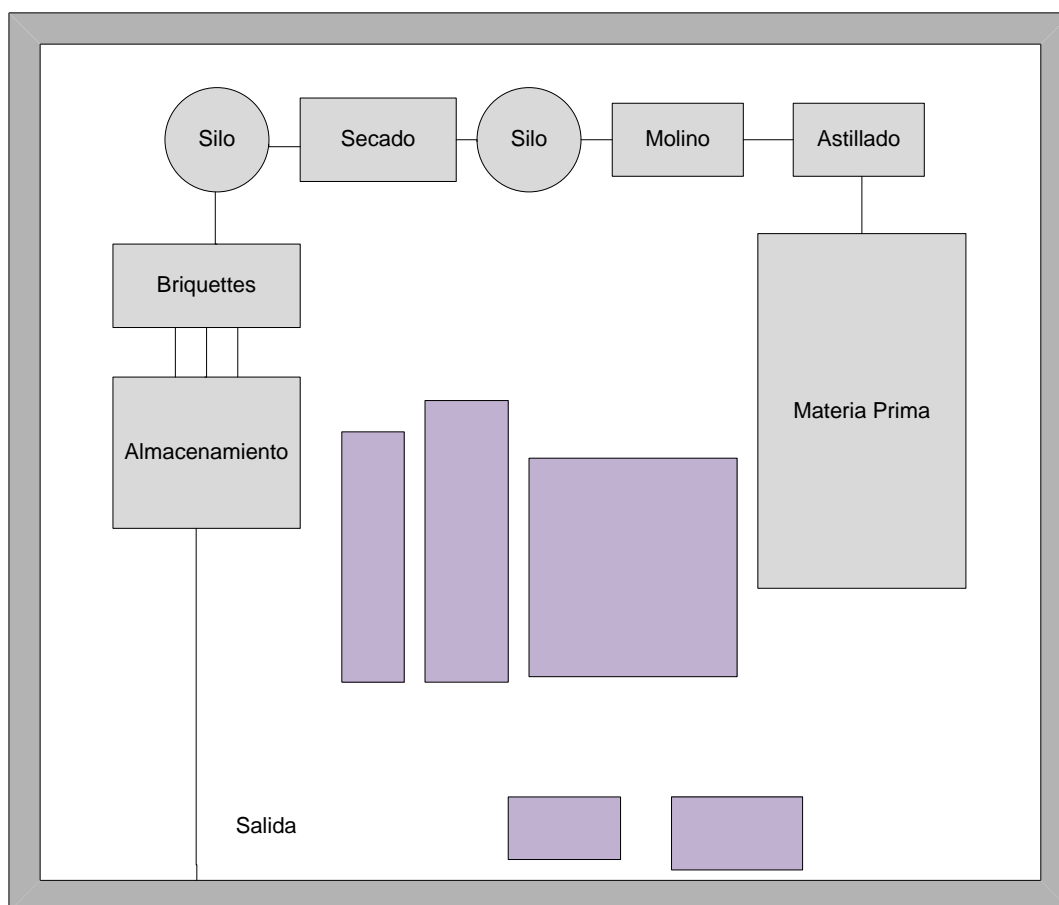
**d. Almacenamiento y transporte.** Las maquinarias propuestas tienen diferentes capacidades de procesamiento por hora, por lo que es necesario tener áreas en donde se pueda almacenar el producto sin que se corra el riesgo de ser arruinado por la humedad u otros factores. Por ende, se debe tener un área de almacenamiento, preferiblemente un silo para almacenar la materia prima después de haber pasado por la reducción, en lo que espera para ser secada. Asimismo después de ser secada, es necesario ingresarla a un silo con clima controlado, para evitar que la humedad vuelva a ser absorbida por el material procesado. Por último, un área de almacenamiento de producto final cuando ya es convertido en briquettes. El transporte de máquina a máquina puede ser realizado con trabajo manual, pero es recomendado que se realice por medio de fajas de transporte y de ciclones, para agilizar el proceso y evitar retrasos.

---

<sup>6</sup> C.F. Nielsen. Briquetting Solutions

**3. Diseño preliminar.** El diseño propuesto está establecido tomando en cuenta la posibilidad de que la planta decida continuar operando como hasta hace poco lo hacía, es decir además de producir biomasa, producir los tableros de madera solida. Por ende, la maquinaria nueva y el diseño preliminar no impiden la utilización de la maquinaria que ya tiene disponible en la planta. Este diseño preliminar muestra un posicionamiento óptimo de la planta, los objetos en morado son maquinaria que ya tiene la planta y no es necesario moverlos. Los objetos en gris, son la nueva maquinaria. El proceso comienza desde la recepción de materia prima hasta la salida del producto. El diseño preliminar no se encuentra a escala.

**Figura 17. Diseño preliminar proceso de cogeneración y fabricación de briquettes**



**4. Obstáculos del ciclo de crecimiento del bosque.** Un proceso de generación de briquettes de biomasa, requiere un ciclo de crecimiento corto del bosque, ya que no es necesario tener árboles con diámetros desarrollados al máximo. Esto se debe a que no es necesario el tamaño típico de un árbol para ser procesado en madera utilizable, porque todo será astillado y molineado para ser procesado después. Por lo tanto, ocurre el obstáculo que si la planta desea en otro momento continuar sus operaciones anteriores construyendo los tableros y productos que realizaba anteriormente, se estaría teniendo un problema de suministro de madera disponible para procesamiento, ya que para estos últimos es indispensables diámetros mayores de árbol.

El ciclo de crecimiento necesario para tener a disponibilidad materia prima para ser convertida en biomasa y briquettes, es de 1-5 años de rotación de bosques. Mientras que el ciclo de crecimiento para tener a disponibilidad materia prima para ser procesada y convertida en madera en forma de tableros, es de 5-12 años. Sería contraproducente, tratar de utilizar el mismo bosque para realizar ambos procesos. Sería necesario, si la compañía decide reanudar sus operaciones anteriores, el conseguir contratos de explotación de algún otro tipo de madera que tenga crecimiento adecuado en Izabal para que esta materia prima sea procesada y convertida en tableros sólidos de madera, mientras que la materia prima del árbol de Melina, sea utilizada para la fabricación de briquettes de biomasa.

### **C. Proceso propuesto de generación de energía eléctrica**

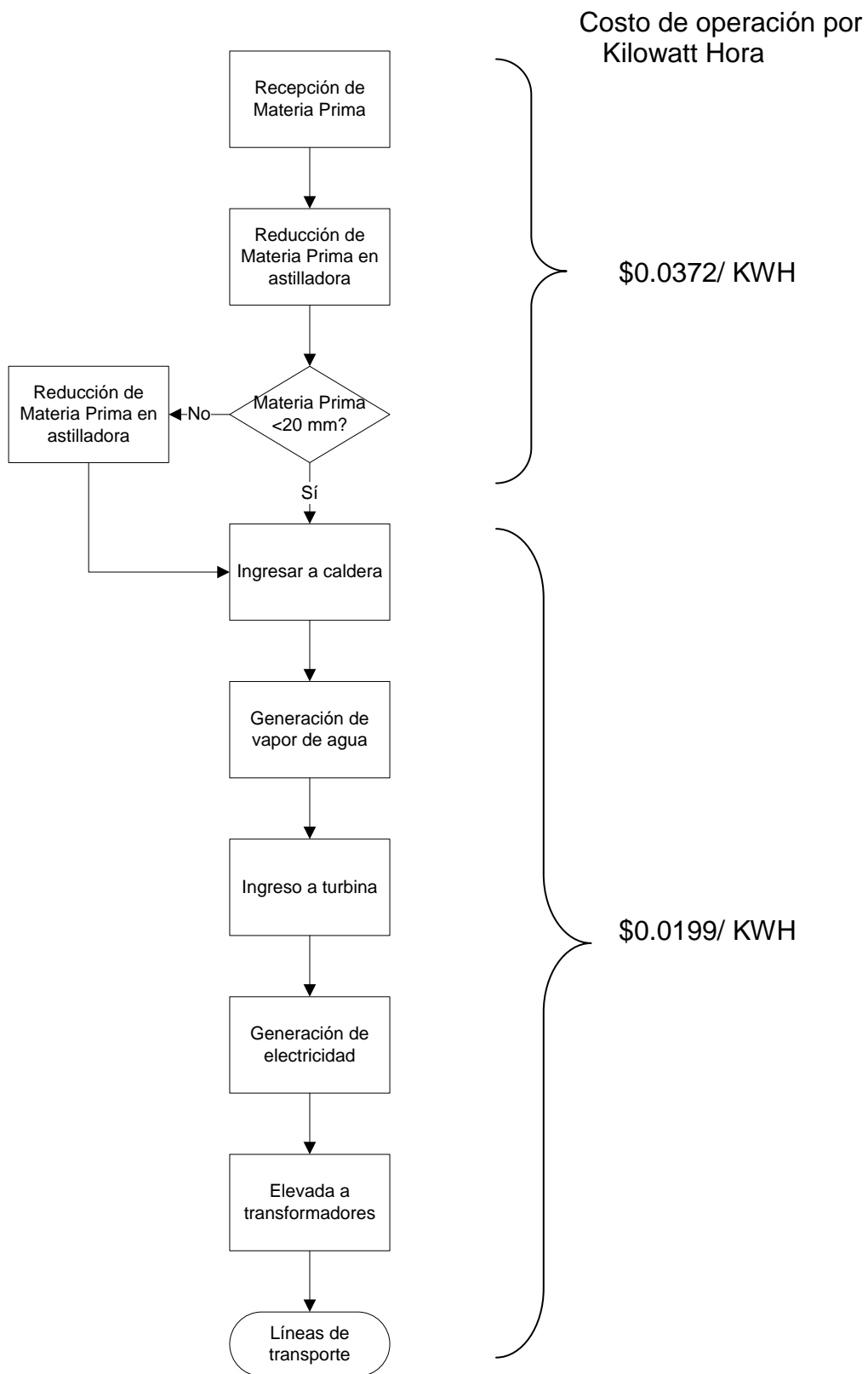
Convertirse en una planta generadora de energía eléctrica para la venta, implica de una gran inversión para poder adquirir una generadora de electricidad por medio de combustión de biomasa adecuada a las cantidades de materia prima que están a disponibilidad. Para poder adquirir una planta generadora de energía y debido a la gran inversión implicada para esto, es necesaria la inyección de gran cantidad de capital que deberá de provenir principalmente de inversionistas interesados en este tipo de negocios. La empresa ha considerado este problema y

ha efectuado negociaciones con inversionistas y empresas de generación de electricidad para que exista la posibilidad de un mutuo acuerdo, la empresa proveería la materia prima de la generadora y parte del capital necesario de la inversión, mientras que el socio proveería una mayor inversión de capital.

**1. Descripción del proceso.** Al igual que el proceso propuesto anteriormente, este proceso comienza con la clasificación de la materia prima. Esto se debe a que la maquinaria de generación de electricidad no puede quemar materia prima muy grande, por ende se debe pasar a una máquina de astillado inicial. Ya que se estaría realizando un quemado de materia prima a tamaño igual, no es necesario una clasificación de materia prima para procesado distinto. El siguiente paso es la entrada a la caldera para la combustión y calentamiento de vapor de agua. Esta caldera debe tener una entrada de aire y así como un economizador que caliente el agua previamente a su entrada a la caldera.

El vapor generado por la caldera se expande en una turbina de vapor, que mueve un generador eléctrico, en donde se produce la energía eléctrica, que una vez elevada su tensión en los transformadores, es vertida al sistema eléctrico mediante líneas de transporte correspondientes.

**Gráfico 2. Diagrama de flujo**  
Producción de Energía Eléctrica  
Método propuesto



**2. Maquinaria requerida.** Las maquinarias propuestas para el proceso de generación de electricidad, son maquinas preliminares de acuerdo a las necesidades de la planta, la capacidad de producción son provenientes de los fabricantes de cada maquinaria y son valores estimados promedios. Se genera la electricidad necesaria para el manejo de esta nueva planta, por medio del uso de cierto porcentaje de lo producido y se requiere de un combustible necesario para mantener el ciclo de combustión de la caldera.

**a. Reducción de materia prima.** La producción de energía eléctrica por medio de la combustión, necesita que la materia prima tenga cierto tamaño así como se menciona en el proceso anterior. Se comienza con una reducción de la materia prima a tamaño adecuado. No es necesario llevar a cabo una segunda reducción de materia prima, ya que solamente se necesita una disminución y no calidad en la reducción de la materia prima.

Este paso debe utilizar una astilladora de madera, igual a la propuesta anteriormente, que recibirá los troncos de melina, así como los residuos verde y productos de desecho del aserradero.

La máquina propuesta para la astilladora de madera tiene una capacidad de 10,000 -12,000 kg/hora de madera "verde". Capaz de reducir a un tamaño de <30 mm, con un consumo aproximado de 10-14 kwh/tonelada

**b. Caldera de generación.** La caldera de generación de electricidad está especializada para obtener una mezcla de biomasa con combustible secundario (posiblemente bunker) con esto se calienta vapor de agua proveniente de un tanque cercano a la caldera. La caldera debe tener tres entradas, una entrada de aire para facilitar la combustión, una entrada de la materia prima (biomasa) reducida y una entrada para el combustible secundario. Con estas tres entradas, se crea la combustión que genera calor para calentar los tubos de agua que se

encuentran elevados, esto es para convertir esta agua precalentada en vapor de agua, que sale de la caldera hacia la turbina y generadora.

Asimismo, la caldera tiene una salida especial hacia un cenicero, ya que esta energía se estará vendiendo como "verde" no se puede solamente tirar los desechos de la combustión, se deben recolectar para ser desechados, esto no se puede convertir en fertilizante, ya que tiene una mezcla de residuos de combustible secundario, por lo que haría que la tierra donde se desecho este residuo, se vuelva infértil. Ahora, si se trata de una mezcla de combustibles renovables, como la biomasa y desechos orgánicos, entonces la ceniza residual sería una fuente exitosa de fertilizante para los bosques de la planta.

**c. Turbina y generador.** La turbina instalada en la nueva planta, recibe el vapor de agua que se genera a presión en la caldera descrita, con el movimiento del vapor de agua a presión, la turbina se encuentra en constante movimiento y esta energía mecánica, la acumula el generador. El generador tendrá una capacidad aproximada de 2MW, ya que no es recomendado comenzar con capacidades muy altas por si se encuentran problemas.

Un generador de 2MW de energía eléctrica, suministra suficiente energía para aproximadamente 2,000 hogares, por lo que inicialmente es un buen camino a tomar. Asimismo se debe tomar en cuenta que los generadores eléctricos y demás maquinaria tienen costos muy elevados.

Una libra de biomasa a un contenido húmedo de 10%, suministra aproximadamente 7,000 btu/lb. 7,000 btu representan aproximadamente 2kwh de electricidad. Ya que una conversión completa es difícil, a un 50% de eficiencia, se estaría produciendo 1kwh por libra de biomasa. Un hogar típico consume en promedio 1000 kwh/mes. Así, se necesitaría de 1000 lbs. de biomasa al mes para cada hogar. Por lo tanto se requieren de 12,000 toneladas de biomasa anuales para producir 2 MW de energía eléctrica. La planta tienen a disposición 25,000 toneladas

anuales de biomasa, que equivalen a 50,000,000 libras. La planta tendría sobrantes en cuanto a materia prima y se hace posible la venta de este sobrante o implica que la planta puede expandirse a producir mayor electricidad si lo desea.

Toda la maquinaria necesaria se estimó de la compañía Alstom Solutions y se tiene un costo de aproximadamente \$1100 por KW, por lo que una generadora y maquinaria necesaria para producir 2MW tendría un precio aproximado de \$ 2,200,000.<sup>7</sup> Esta turbina y generador tiene una eficiencia de 60% ya que se está perdiendo mucha de esta energía en forma de calor. (IEA 2007)

**d. Transformadores y cables de transporte.** Los transformadores son los encargados de convertir la energía creada por el generador anterior y transformarlo en electricidad lista para ser transportada a la red de suministro de energía eléctrica. Asimismo se requieren de cables especiales para transportar esta energía eléctrica minimizando la pérdida por calor.

Se requiere de un contador de salida de electricidad para llevar un control de cuanto se está suministrando hacia la red de suministros de energía eléctrica para conocer las ventas.

**e. Almacenamiento.** Así como, el almacenamiento necesario para la propuesta anterior, se necesita de un almacenamiento temporal de la materia prima, y un almacenamiento en forma de silo para la materia prima que fue astillada y preparada para la quema. No es necesario la utilización de ciclones y cinturonos de transporte, ya que todo se realiza en tubos que vienen incluidos con la inversión.

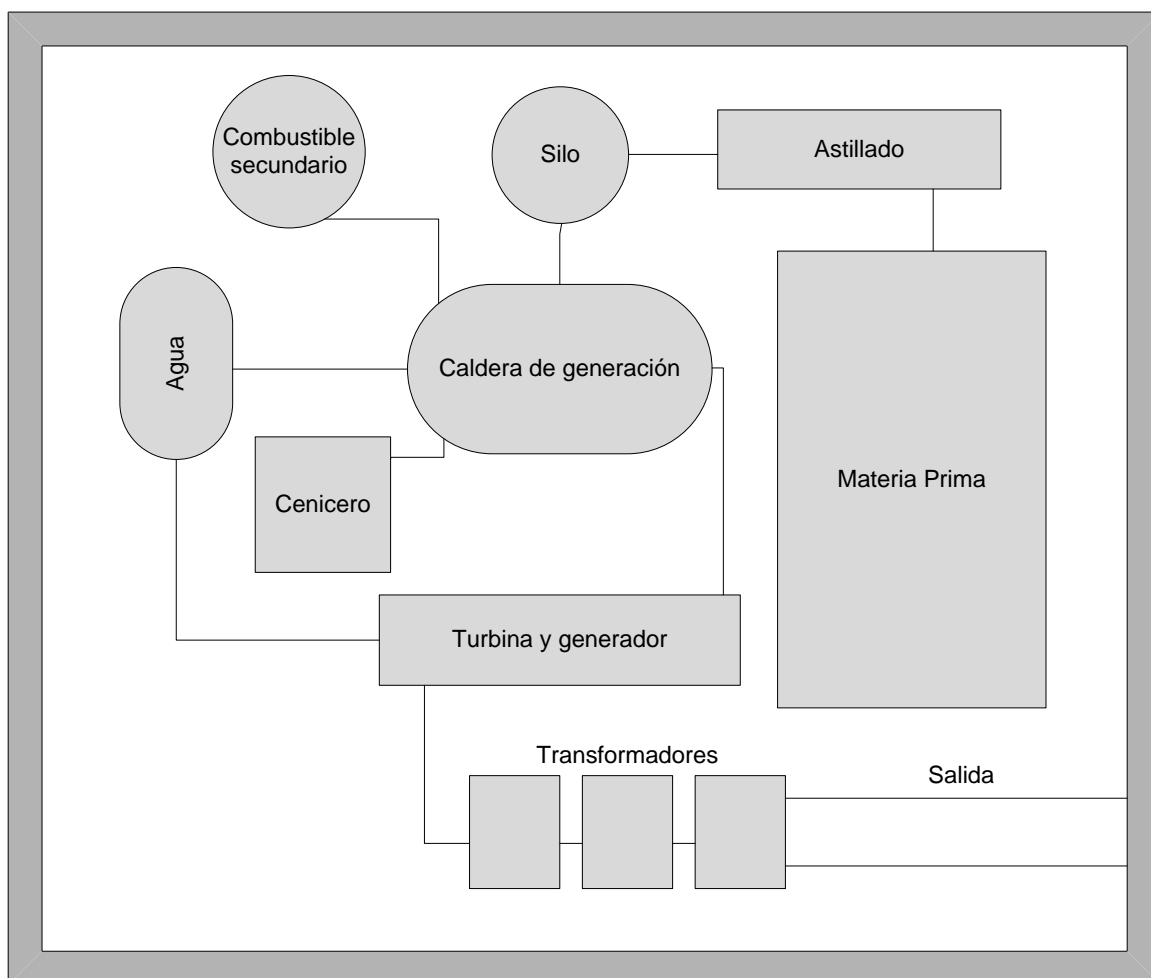
**3. Diseño preliminar.** Este diseño propuesto está establecido con una reestructuración de la planta, asumiendo que ya no desea continuar con sus operaciones de producción de madera. Este diseño propone la venta completa de toda la maquinaria anterior, para así disponer de mayor capital para la adquisición

---

<sup>7</sup> Fuente Alstom Energy Solutions

de maquinaria nueva como la caldera de generación, turbinas y transformadores. Este diseño muestra el posicionamiento óptimo de la planta con la nueva maquinaria, todos los objetos se encuentran en gris, ya que serían nuevas máquinas o nuevas áreas. El proceso comienza desde la recepción de materia prima hasta la salida de la energía eléctrica por medio de líneas de transporte hacia la red de interconexión eléctrica en Guatemala que se encuentra a un kilómetro y medio de la ubicación actual de la planta.

**Figura 18. Diseño preliminar proceso generación de electricidad**



**4. Obstáculos para hacer viable el proyecto de generación eléctrica.** El principal obstáculo que se enfrenta este proyecto, está asociado con el valor mismo de la materia prima así como los costos de transporte de la materia prima del bosque adjunto hacia la planta. Los costos incluyen la mano de obra, transporte y combustible y mantenimiento de tractores. El costo de la materia prima más el costo de transporte está estimado por parte de la planta en un total de \$25/tonelada. Ahora, las plantas generadoras de electricidad por medio de la combustión de desechos naturales y biomasa, adquieren esta materia prima a un precio mucho más barato (debido a que están acostumbrados a nivel internacional a conseguir la misma como producto de desechos de otras plantas industriales de productos de madera), usualmente a un precio de \$3-\$5/tonelada por lo que si se desea llevar a cabo la realización de este proceso, el inversionista debe estar enterado que los costos de la materia prima así como el costo de transportar la materia prima del bosque hacia el generador de electricidad, ya que los mismos serán mayores a los usuales en otras plantas similares en otros países.

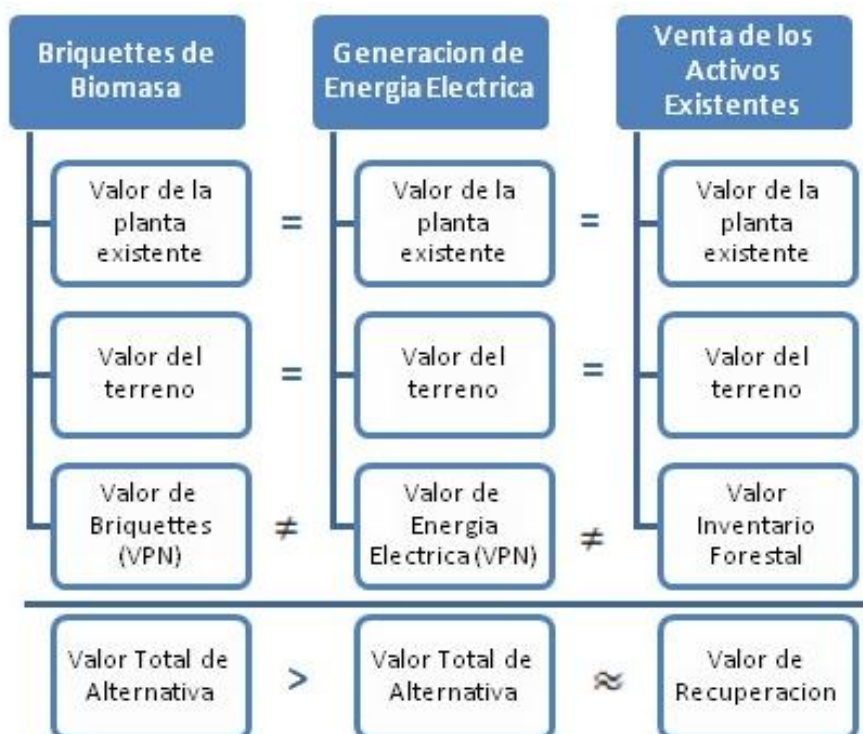
Los bosques se encuentran en abundancia en Guatemala, y es posible que por la demanda proveniente de potenciales generadores de electricidad se comience a talar ilegalmente árboles sin algún compromiso de reforestación. Por ende, uno de los obstáculos a superar, es el de llevar a cabo una tala de árboles teniendo conciencia de los problemas que puede traer si la misma no conlleva un manejo correcto. Asimismo, la planta debe asegurarse que sí va a comprar madera de otras fuentes, que los bosques de donde se está obteniendo dicha materia prima garanticen un adecuado manejo ambiental para evitar deforestación y tala desproporcionada, así como asegurarse que la madera externa que adquiere tenga las órdenes de envío necesarias que provee el INAB.

#### D. Consideraciones sobre la venta de los activos existentes de la Empresa

Los principales activos que tiene a disposición la empresa son: la tierra, la planta para la elaboración de tableros sólidos de madera y sus productos, y el inventario forestal. Tanto, en el proyecto de briquettes de biomasa y el proyecto de generación de energía eléctrica, como en la venta de los activos existentes, es constante el valor de la tierra y el valor de la planta existente.

El valor de rescate del inventario forestal, (que sería parte de la alternativa de vender los activos de la empresa), es un valor muy pequeño ya que en nuestro medio, no hay un desarrollo forestal-industrial que valore adecuadamente el bosque, solamente los terrenos en donde se ubica el bosque. Este estudio, pretende, en lugar de vender el bosque como tal, transformar dicho valor forestal en productos donde exista demanda en nuestro medio. Esto se puede ver claramente, en la siguiente figura:

**Figura 19. Comparativo de valores finales de alternativas**



Como se concluirá más adelante en el siguiente capítulo, el valor de la biomasa es mayor que el valor de planta de generación y como no hay un precio real de mercado del inventario forestal, el valor de la liquidación de activos es muy parecido al valor de la planta de generación. Por lo tanto, financieramente no es viable analizar la alternativa sobre la venta de los activos existentes de la empresa dado que el valor obtenido sería muy parecido al de la generación de electricidad, y al mismo tiempo, en esta alternativa solamente se tendrían los ingresos monetarios de la venta de maquinaria y de terreno, y no el valor adecuado del inventario forestal como lo toman las primeras alternativas.

## **E. Relación comparativa**

Resulta difícil el llevar a cabo una relación comparativa de procesos propuestos, ya que los procesos son distintos, e implican que las operaciones de la nueva planta serían totalmente diferentes a como se llevaban a cabo anteriormente. Ambos de los proyectos sobre un nuevo sistema operativo tienen sus ventajas y desventajas para la planta y asimismo ambos deben enfrentar ciertos obstáculos que pueden causar que la factibilidad de implantar este método no pueda ser posible.

**1. Cogeneración y briquettes vs. generación de electricidad.** Desde un punto de vista técnico, ambos procesos operativos nuevos, sin incluir la alternativa de vender y liquidar activos, traerán una nueva fuente de ingresos económicos a la planta y al mismo tiempo se demuestra que ambos pueden ser llevados a cabo, considerando el suministro de materia prima y la disponibilidad de otros recursos necesarios para su manejo.

Ambos procesos deben enfrentar obstáculos, el proceso de producción de briquettes debe enfrentar un obstáculo en cuanto al ciclo de vida de crecimiento de los bosques y la posibilidad de conseguir otra fuente de materia prima para volver a continuar con operaciones anteriores. Mientras que el proceso de generación de

electricidad debe enfrentar el obstáculo que el inversionista debe estar de acuerdo de manejar un costo elevado en cuanto al valor y transporte de materia prima, mientras que otras generadoras similares en otros países con una industria forestal más desarrollada no tienen este problema.

Técnicamente, ambos procesos son factibles de realizar y se debe realizar el proceso que más le sea de conveniencia a la empresa con una consideración de factibilidad económica.

## VIII. ANÁLISIS FINANCIERO Y COMPARACIONES

### A. Análisis financiero y costeo del proceso propuesto, cogeneración y fabricación de briquettes

La planta está diseñada para operar 24 horas, siete días a la semana y con una operación anual de aproximadamente 50 semanas, tomando en consideración mantenimientos planeados. En total se tendrían 8,400 horas de operación anual.

Los costos de personal operativo se presentan en la siguiente tabla. Estos son datos estimados que pueden cambiar de acuerdo a las necesidades de la planta.

**Tabla 4. Personal y salarios**

	Cantidad	Salario (\$/Mes)
Mano de obra calificada	3	470
Mano de obra	32	270
Total	35	10,050

El precio de venta de una tonelada de briquettes se establece en \$110, éste es un precio muy por debajo del promedio internacional, el cual se encuentra entre \$140 - \$150. La decisión de este precio se llevó a cabo tomando en cuenta la inexistencia de un mercado de briquettes, por ende establecer un precio muy alto no va a tener la misma demanda que uno bajo, especialmente en un mercado que es prácticamente inexistente.

La comprobación de la factibilidad económica de este proyecto, se realizara por medio de análisis de flujos de caja, así como tasas de retorno y valores presentes netos. Algunos de los parámetros utilizados para llevar a cabos estos análisis se presentan a continuación en forma de tabla.

**Tabla 5. Parámetros generales**

Descripción	Cantidad	Unidades
Capacidad de producción	3000	Kg/hora
Producción anual	20000	Toneladas
Tiempo de operación (Secado y briquettes)	8400	Horas anuales
Tiempo de operación (Astillado y molino)	4000	Horas anuales
Precio de venta	110	\$/ton
Depreciación	15	Años
Tasa de interés	10	%
Financiamiento		
Capital	50	%
Deuda	50	%

Los costos de inversión para la nueva maquinaria de este proceso, están estimados de acuerdo a información de los fabricantes del equipo, y representan costos promedios de este tipo de maquinaria. Adjunto en anexos se presenta la información de los fabricantes cotizados.

**Tabla 6. Costos de inversión**

Descripción	Costo en dólares (\$)
Reducción de materia prima (astillado y molino)	60,000
Secado	20,000
Briquettes	90,000
Silos	1,000
Almacenamiento	2,000
Cinturones de transporte	1,000
Obra civil	40,000
Costo transporte de equipo	12,000
Otros costos	5,000
Cableado de electricidad	5,000
<b>Total costos directos</b>	<b>236,000</b>
Instalaciones temporales	2,000

**Continuación tabla 6. Costos de inversión**

Descripción	Costo en dólares (\$)
Ingeniería	7,000
Otros costos	5,000
<b>Total costos indirectos</b>	<b>14,000</b>
<b>Total costos de inversión</b>	<b>250,000</b>

Los costos de producción se realizaron basados en estimaciones de precios que cubre la empresa actualmente.

- ✓ Electricidad: 0.19 \$/kWh
- ✓ Materia Prima: 25 \$/tonelada (50% de humedad)
- ✓ Secado: 35 \$/tonelada (50% de humedad)
  - 60% de eficiencia
- ✓ 1.8 toneladas equivalen a 1 tonelada (10% de humedad)
- ✓ Mantenimiento: 20,000 dólares anuales

**Tabla 7. Costos de producción**

Descripción	\$/tonelada de briquettes
Materia prima	45
Secado	11.67
Electricidad	13.87
<b>Total costos variables</b>	<b>70.54</b>
Personal	6.03
Mantenimiento	1
<b>Total costos fijos</b>	<b>7.03</b>
<b>Total costos de producción</b>	<b>77.57</b>

De acuerdo a las consideraciones de impuestos en el Capítulo 5, el único impuesto que debe considerarse es el ISR con el ISO considerado. A continuación se muestra el desglose de impuestos que se deben cubrir en esta alternativa.

**Tabla 8. Impuestos**

Impuesto	Total Anual (\$)
Impuesto Sobre la Renta	196,189
Impuesto de Solidaridad que será acreditado al ISO	22,000
<b>Total Impuestos Pendientes de Pago</b>	<b>174,189</b>

El 50% del financiamiento se realiza por medio de un préstamo bancario, amortizado a 10 años con pago de cuotas de capital iguales, con una tasa de interés de 10%. A continuación se muestra el desglose de las amortizaciones del préstamo.

**Tabla 9. Amortización de préstamo briquettes**

Periodo	Capital inicial	Intereses	Intereses pagados	Capital pagado	Pago total
1	125,000	12,500	12,500	12,500	25,000
2	112,500	11,250	11,250	12,500	23,750
3	100,000	10,000	10,000	12,500	22,500
4	87,500	8,750	8,750	12,500	21,250
5	75,000	7,500	7,500	12,500	20,000
6	62,500	6,250	6,250	12,500	18,750
7	50,000	5,000	5,000	12,500	17,500
8	37,500	3,750	3,750	12,500	16,250
9	25,000	2,500	2,500	12,500	15,000
10	12,500	1,250	1,250	12,500	13,750
Total			68,750	125,000	193,750

**1. Análisis de flujo de caja para próximos 10 años.** Se llevó a cabo una proyección de flujo de caja para los próximos 10 años considerando los necesarios costos e inversiones realizar un proceso de cogeneración y fabricación de briquettes. Se utiliza esta proyección para conocer los ingresos y salidas de efectivo esperadas para los próximos diez años si se decide llevar a cabo este proceso e invertir en él.

Se observa que financieramente, este proceso es completamente factible y es una inversión muy recomendada que puede efectuar la empresa. Con una inversión relativamente pequeña, la empresa asegura un ingreso de dinero alto por medio de ventas de briquettes, con una demanda completa de lo producido anualmente. Esto es factible mediante la suscripción de contratos de venta con otras empresas.

**Tabla 10. Flujos de caja de inversión**

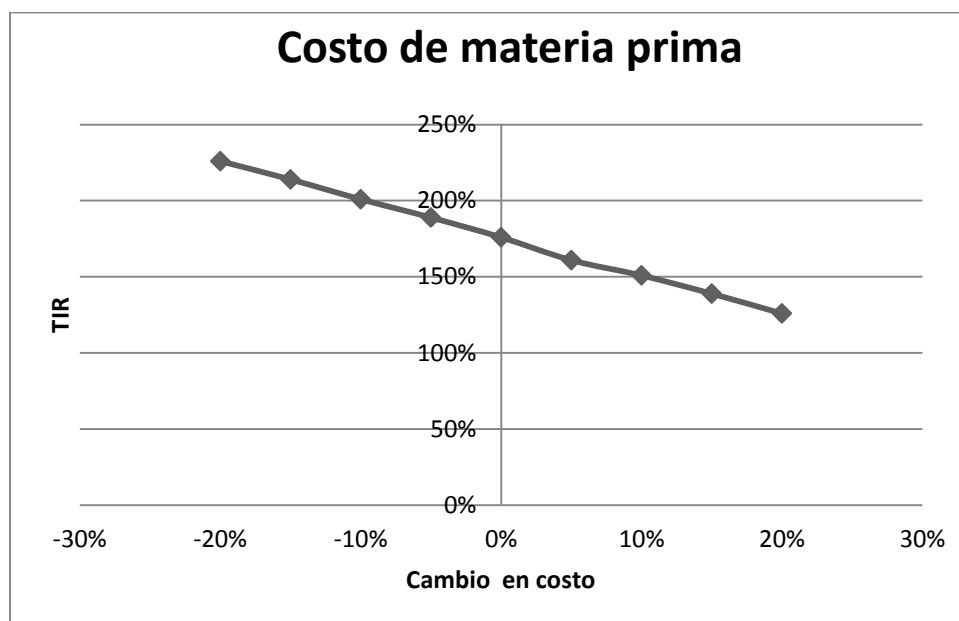
Año Operativo	Unidades	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Produccion	ton/año		20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000
Precio de Venta	\$/ton		110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Ingresos Netos	\$/año		2,200,000	2,200,000	2,200,000	2,200,000	2,200,000	2,200,000	2,200,000	2,200,000	2,200,000	2,200,000
<b>Costos Variables</b>												
Materia Prima	\$/año		900,000	900,000	900,000	900,000	900,000	900,000	900,000	900,000	900,000	900,000
Electricidad	\$/año		277,400	277,400	277,400	277,400	277,400	277,400	277,400	277,400	277,400	277,400
Secado	\$/año		233,400	233,400	233,400	233,400	233,400	233,400	233,400	233,400	233,400	233,400
Otros	\$/año		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	\$/año		1,410,800	1,410,800	1,410,800	1,410,800	1,410,800	1,410,800	1,410,800	1,410,800	1,410,800	1,410,800
Margen de Contribucion			789,200	789,200	789,200	789,200	789,200	789,200	789,200	789,200	789,200	789,200
<b>Costos Fijos</b>												
Personal	\$/año		120,600	120,600	120,600	120,600	120,600	120,600	120,600	120,600	120,600	120,600
Mantenimiento	\$/año		20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000
Otros	\$/año		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	\$/año		140,600	140,600	140,600	140,600	140,600	140,600	140,600	140,600	140,600	140,600
Total Costos de Produccion			1,551,400	1,551,400	1,551,400	1,551,400	1,551,400	1,551,400	1,551,400	1,551,400	1,551,400	1,551,400
Margen Operativo (EBITDA)			648,600	648,600	648,600	648,600	648,600	648,600	648,600	648,600	648,600	648,600
% Ventas Netas	%		29.5%	29.5%	29.5%	29.5%	29.5%	29.5%	29.5%	29.5%	29.5%	29.5%
Tasa de depreciacion	6.67%											
Depreciacion	\$/año		(15,733)	(15,733)	(15,733)	(15,733)	(15,733)	(15,733)	(15,733)	(15,733)	(15,733)	(15,733)
EBIT	\$/año		632,867	632,867	632,867	632,867	632,867	632,867	632,867	632,867	632,867	632,867
Interes	\$/año		12,500	11,250	10,000	8,750	7,500	6,250	5,000	3,750	2,500	1,250
Impuestos (ISR)	\$/año		196,189	196,189	196,189	196,189	196,189	196,189	196,189	196,189	196,189	196,189
Depreciacion	\$/año		15,733	15,733	15,733	15,733	15,733	15,733	15,733	15,733	15,733	15,733
Flujo de Caja de operaciones			439,911	441,161	442,411	443,661	444,911	446,161	447,411	448,661	449,911	451,161
Inversiones Fijas		(250,000)										
Reinversiones			-	-	-	-	20,000	-	-	-	-	20,000
Pago de Prestamo			12,500	12,500	12,500	12,500	12,500	12,500	12,500	12,500	12,500	12,500
Gastos de Capital		(250,000)	12,500	12,500	12,500	12,500	32,500	12,500	12,500	12,500	12,500	32,500
Flujo de Caja Libre		(250,000)	427,411	428,661	429,911	431,161	412,411	433,661	434,911	436,161	437,411	418,661

**2. Análisis de TIR.** El análisis de la Tasa Interna de Retorno de este proceso e inversión en nuevas operaciones se obtuvo en un 171.15%. Ésta es una tasa alta y admirable para una inversión que implique un nuevo proceso y un cambio casi total de las operaciones de una empresa. Por ende, tomando en cuenta esta tasa interna de retorno de la inversión, esta inversión es completamente factible. Los cálculos y operaciones realizadas para obtener este dato se adjuntan en anexos.

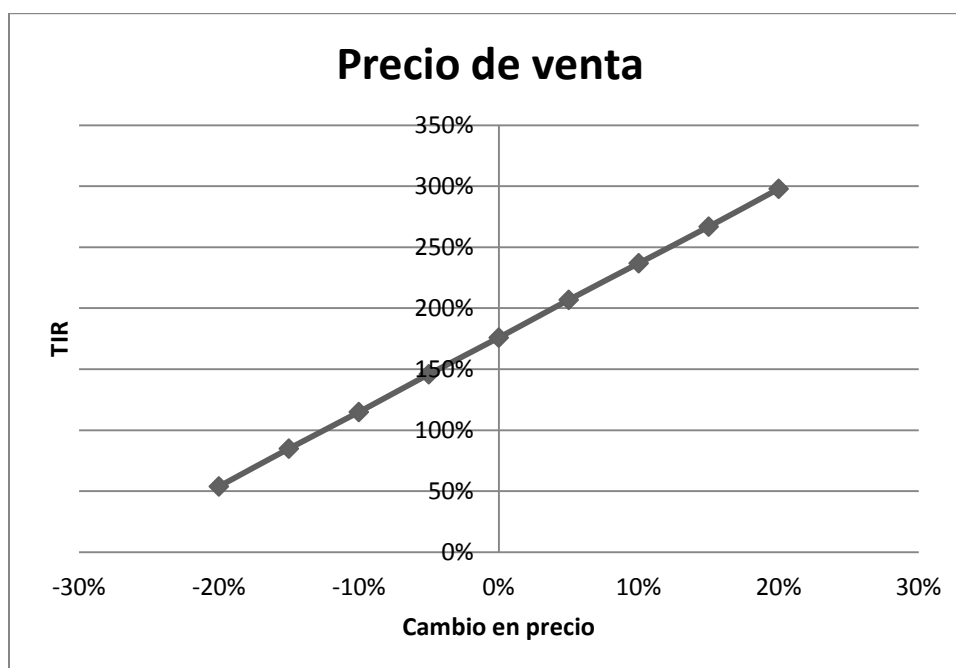
**3. Análisis de VPN.** En cuanto a un análisis de Valor Presente de esta nueva inversión, se obtuvo \$2,384,742.50, con una tasa de descuento de 10%. Un dato de valor presente neto que no es negativo implica que la inversión es factible y le traerá beneficios a la empresa que realice esto. Los cálculos y operaciones hechas para obtener este dato se adjuntan en anexos.

La tasa de descuento escogida, es aquella que sale de sumarle el rendimiento promedio de un Fondo de Inversión Guatemalteco expresado en dólares (Promedio del fondo bursátil en US\$) más doscientos puntos básicos. (8%+2%).

**4. Análisis de Sensibilidad.** Este análisis de sensibilidad se llevó a cabo con una comparación de los cambios en la Tasa Interna de Retorno de esta inversión, realizando cambios con variables claves de este análisis financiero. Las variables consideradas fueron el costo de materia prima, el precio de venta y el costo de la inversión. Al realizar cambios porcentuales en un rango de -20% a 20% en estas variables, se obtuvieron las distintas Tasas Internas de Retorno para así tener un comparativo grafico. En todos estos análisis, la Tasa Interna de Retorno base es la obtenida originalmente de 171.15%. Estos comparativos se realizaron cambiando solamente la variable en consideración, dejando todas las otras variables constantes.

**Gráfica 3. TIR vs costo materia prima**

Tomando en cuenta cambios en costos de materia prima que incluyen los costos de un proceso de recolección de la madera del bosque hacia la planta, la inversión continua siendo altamente beneficiosa para la empresa. Claramente con una disminución en el costo de la obtención de la materia prima, la inversión se vuelve cada vez mayormente exitosa. Aun con un aumento del 20% en el costo de la materia prima, se observa que se mantiene una Tasa de Retorno de aproximadamente 125%.

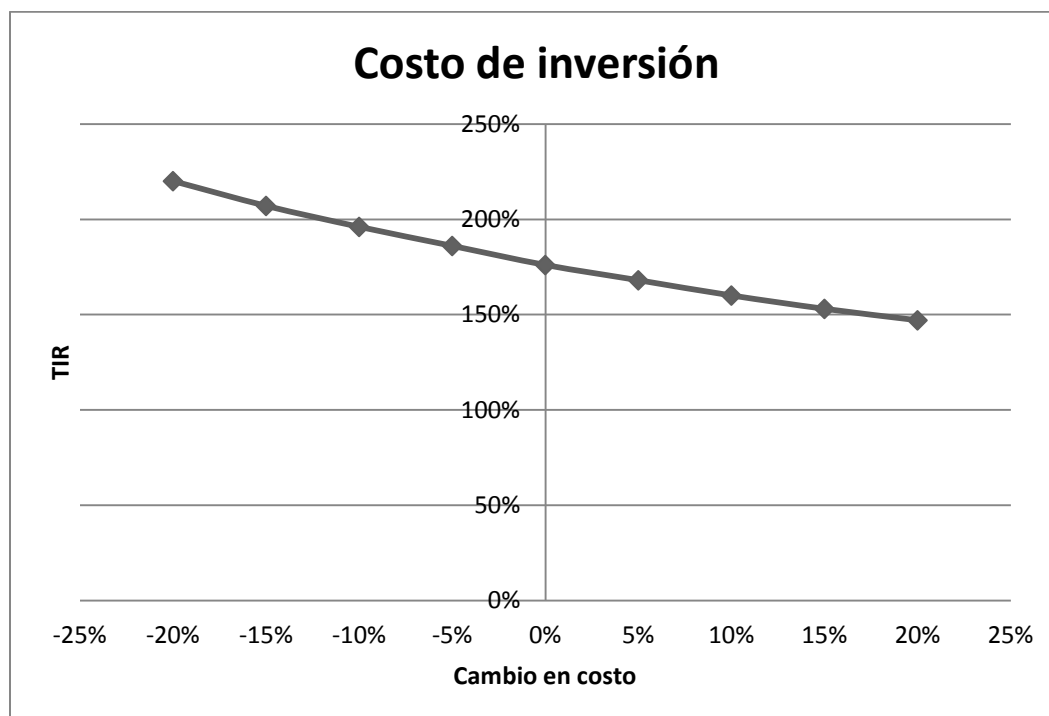
**Gráfica 4. TIR vs precio de venta**

Un aumento en los precios de venta de los briquettes, implican un aumento exitoso en cuanto a la inversión. Con un aumento o una disminución en los precios de venta, este proceso de cogeneración y briquettes de biomasa todavía sigue siendo factible. Este análisis considera los costos de venta de briquettes obtenidos por medio de entrevistas a posibles compradores de briquettes. Es difícil determinar el precio, que en su momento, establecerá la demanda y oferta del producto. Sin embargo, el precio ofrecido por posibles compradores es razonable ya que dichos productos, en otros países se venden a precios mayores. Debido a que los productos se venderán directamente a consumidores industriales (ingenios azucareros), las variaciones en los precios solamente se utilizan para mostrar la factibilidad de este proceso y no necesariamente reflejan el comportamiento actual del mercado en cuanto a demanda de este producto.

La totalidad de la inversión en maquinaria y demás herramientas operativas es relativamente pequeña comparada con la inversión del segundo proceso propuesto (Planta Generadora de Electricidad). Al obtener aumentos o reducciones

en costos de inversión, el proceso sigue siendo factible por su alta tasa interna de retorno.

**Gráfica 5. TIR vs costo de inversión**



### **B. Análisis financiero y costeo del proceso propuesto, conversión de la planta en generadora de electricidad**

Nuevamente, la planta está diseñada para operar 24 horas, siete días a la semana y con una operación anual de aproximadamente 50 semanas, tomando en consideración mantenimientos planeados. En total se tendría una totalidad de 8400 horas de operación anual.

Los costos del personal operativo se presentan en la siguiente tabla, estos son datos estimados que pueden cambiar de acuerdo a las necesidades de la planta.

**Tabla 11. Personal y salarios**

	Cantidad	Salario (\$/Mes)
Mano de obra calificada	4	470
Mano de obra	40	270
Total	44	12,680

La comprobación de la factibilidad económica de este proyecto, se realizará por medio de análisis de flujos de caja, así como Tasas de Retorno y Valores Presentes Netos. Algunos de los parámetros utilizados para llevar a cabo estos análisis se presentan a continuación en forma de tabla.

En este caso, la producción es energía eléctrica y el precio de venta al distribuidor es de 0.90 Q/Kwh o 0.11 \$/Kwh, a un tipo de cambio de \$1 por Q8. El suministro de energía eléctrica se realiza por medio de licitaciones y subastas para el uso de las redes de suministro. Por medio de este proceso, los precios de energía son subastados comenzando desde lo más barato posible, hasta que se llegue al suministro necesario. Por ende, los precios a los que las empresas privadas venden su producción de energía eléctrica, son siempre menores a la que los consumidores finales adquieren la energía eléctrica.

De acuerdo al Informe Estadístico 2011, de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, el precio promedio mensual de la energía en el Mercado de Oportunidades, para el año 2010 fue de 103.96 \$/mwh, que representa un precio de 0.10396 \$/kwh. Este sería el precio actual al que las empresas de suministro de electricidad comprarían la energía eléctrica.

Ahora tomando en cuenta esta razón, se efectúa el estudio con un precio de venta de suministro de electricidad promedio para comprobar la factibilidad de este proceso. Se comprobará la factibilidad del proceso con una disminución exponencial del precio por medio del análisis de sensibilidad.

**Tabla 12. Parámetros generales**

Descripción	Cantidad	Unidades
Capacidad de producción	3000	Kg/hora
Producción anual	25000	Toneladas
Tiempo de operación (Astillado)	4000	Horas anuales
Precio de venta	0.11	\$/Kwh
Depreciación	15	Años
Impuestos	31	%
Tasa de interés	10	%
Financiamiento		
Capital	30	%
Inversionistas	40	%
Deuda	30	%

Los costos de inversión para la nueva maquinaria de este proceso, están estimados de acuerdo a información de los fabricantes del equipo, y representan costos promedios de este tipo de maquinaria. Adjunto en anexos se presenta la información de los fabricantes cotizados.

**Tabla 13. Costos de inversión**

Descripción	Costo en dólares (\$)
Reducción de materia prima (astillado)	30,000
Maquinaria de generación	2,200,000
Silos	1,000
Almacenamiento	2,000
Cinturones de transporte	1,000
Obra civil	30,000
Costo transporte de equipo	15,000
Otros costos	5,000
Cableado de electricidad	10,000
<b>Total costos directos</b>	<b>2,294,000</b>
Instalaciones temporales	2,000
Ingeniería	10,000
Otros costos	3,000

Descripción	Costo en dólares (\$)
<b>Total costos indirectos</b>	<b>15,000</b>
<b>Total costos de inversión</b>	<b>2,309,000</b>

Los costos de producción se realizaron basados en estimaciones de precios que cubre la empresa actualmente.

- ✓ Materia prima: 25 \$/tonelada (50% de humedad)
- ✓ Mantenimiento: 30,000 dólares anuales

**Tabla 14. Costos de producción**

Descripción	\$/KWH
Materia Prima	0.0372
<b>Total costos variables</b>	<b>0.0372</b>
Personal	0.0091
Mantenimiento	0.0018
<b>Total costos fijos</b>	<b>0.0108</b>
<b>Total costos de producción</b>	<b>0.0480</b>

De acuerdo a los impuestos y leyes consideradas en el Capítulo 2, este proyecto está exento de todo impuesto sobre sus operaciones de generación de electricidad durante los primeros 10 años de operación. Después de los 10 años, se pagan los impuestos requeridos por el estado, nuevamente el único impuesto que debe cubrirse es el ISR con el ISO considerado. A continuación se muestra el desglose de impuestos que se deben cubrir en esta alternativa.

**Tabla 15. Impuestos después de 10 años de operación**

Impuesto	Total Anual (\$)
Impuesto Sobre la Renta	46,100
Impuesto de Solidaridad que será acreditado al ISO	11,088
<b>Total Impuestos Pendientes de Pago</b>	<b>33,524</b>

El 30% del financiamiento se realiza por medio de un préstamo bancario, amortizado a 10 años con pago de cuotas de capital iguales, con una tasa de

interés de 10%. A continuación se muestra el desglose de las amortizaciones del préstamo.

**Tabla 16. Amortización de préstamo generación**

Periodo	Capital inicial	Intereses	Intereses pagados	Capital pagado	Pago total
1	692,700	69,270	69,270	69,270	138,540
2	623,430	62,343	62,343	69,270	131,613
3	554,160	55,416	55,416	69,270	124,686
4	484,890	48,489	48,489	69,270	117,759
5	415,620	41,562	41,562	69,270	110,832
6	346,350	34,635	34,635	69,270	103,905
7	277,080	27,708	27,708	69,270	96,978
8	207,810	20,781	20,781	69,270	90,051
9	138,540	13,854	13,854	69,270	83,124
10	69,270	6,927	6,927	69,270	76,197
Total			380,985	692,700	1,073,685

**1. Análisis de flujo de caja para próximos 15 años.** Se llevó a cabo una proyección de flujo de caja para los próximos 15 años considerando los necesarios costos e inversiones de llevar a cabo un proceso de generación de energía eléctrica. Se utiliza esta proyección para conocer los ingresos y egresos de efectivo esperados para los próximos años si se decide llevar a cabo este proceso e invertir en el.

Se observa que financieramente, este proceso no es realmente factible y es un riesgo muy alto que debe llevar la empresa para tener éxito. Con una inversión muy alta por parte de la empresa y de posibles inversionistas a conseguir, es un

proceso riesgoso que puede hacer fracasar la empresa. Se observa que está entrando muy poco dinero en la relación a la inversión inicial que se debe realizar y por ende este proceso no es de conveniencia para la empresa.

**Tabla 17. Flujos de caja de inversión**

Año Operativo	Unidades	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
Produccion	ton/año		25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000
Precio de Venta	\$/kwh		0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Ventas	\$/kwh		1,108,800	1,108,800	1,108,800	1,108,800	1,108,800	1,108,800	1,108,800	1,108,800	1,108,800	1,108,800	1,108,800	1,108,800	1,108,800	1,108,800	1,108,800
Ingresos Netos	\$/año		1,108,800	1,108,800	1,108,800	1,108,800	1,108,800	1,108,800	1,108,800	1,108,800	1,108,800	1,108,800	1,108,800	1,108,800	1,108,800	1,108,800	1,108,800
<b>Costos Variables</b>																	
Materia Prima	\$/año		625,000	625,000	625,000	625,000	625,000	625,000	625,000	625,000	625,000	625,000	625,000	625,000	625,000	625,000	625,000
Otros	\$/año		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	\$/año		625,000	625,000	625,000	625,000	625,000	625,000	625,000	625,000	625,000	625,000	625,000	625,000	625,000	625,000	625,000
Margen de Contribucion			483,800	483,800	483,800	483,800	483,800	483,800	483,800	483,800	483,800	483,800	483,800	483,800	483,800	483,800	483,800
<b>Costos Fijos</b>																	
Personal	\$/año		152,158	152,158	152,158	152,158	152,158	152,158	152,158	152,158	152,158	152,158	152,158	152,158	152,158	152,158	152,158
Mantenimiento	\$/año		30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000
Otros	\$/año		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	\$/año		182,158	182,158	182,158	182,158	182,158	182,158	182,158	182,158	182,158	182,158	182,158	182,158	182,158	182,158	182,158
Total Costos de Produccion			807,158	807,158	807,158	807,158	807,158	807,158	807,158	807,158	807,158	807,158	807,158	807,158	807,158	807,158	807,158
Margen Operativo (EBITDA)			301,643	301,643	301,643	301,643	301,643	301,643	301,643	301,643	301,643	301,643	301,643	301,643	301,643	301,643	301,643
% Ventas Netas	%		27.2%	27.2%	27.2%	27.2%	27.2%	27.2%	27.2%	27.2%	27.2%	27.2%	27.2%	27.2%	27.2%	27.2%	27.2%
Tasa de depreciacion	6.67%																
Depreciacion	\$/año		(152,933)	(152,933)	(152,933)	(152,933)	(152,933)	(152,933)	(152,933)	(152,933)	(152,933)	(152,933)	(152,933)	(152,933)	(152,933)	(152,933)	(152,933)
EBIT	\$/año		148,709	148,709	148,709	148,709	148,709	148,709	148,709	148,709	148,709	148,709	148,709	148,709	148,709	148,709	148,709
Interes	\$/año		69,270	62,343	55,416	48,489	41,562	34,635	27,708	20,781	13,854	6,927	-	-	-	-	-
Impuestos (ISR)	\$/año												46,100	46,100	46,100	46,100	46,100
Depreciacion	\$/año		152,933	152,933	152,933	152,933	152,933	152,933	152,933	152,933	152,933	152,933	152,933	152,933	152,933	152,933	152,933
Flujo de Caja de operaciones			232,373	239,300	246,227	253,154	260,081	267,008	273,935	280,862	287,789	294,716	255,543	255,543	255,543	255,543	255,543
Inversiones Fijas		(2,309,000)															
Reinversiones			-	-	-	30,000	30,000	-	-	-	30,000	30,000	-	-	-	30,000	30,000
Pago de Prestamo			69,270	69,270	69,270	69,270	69,270	69,270	69,270	69,270	69,270	69,270	-	-	-	-	-
Gastos de Capital		(2,309,000)	69,270	69,270	69,270	99,270	99,270	69,270	69,270	69,270	99,270	99,270	-	-	-	30,000	30,000
Flujo de Caja Libre		(2,309,000)	163,103	170,030	176,957	153,884	160,811	197,738	204,665	211,592	188,519	195,446	255,543	255,543	255,543	225,543	225,543

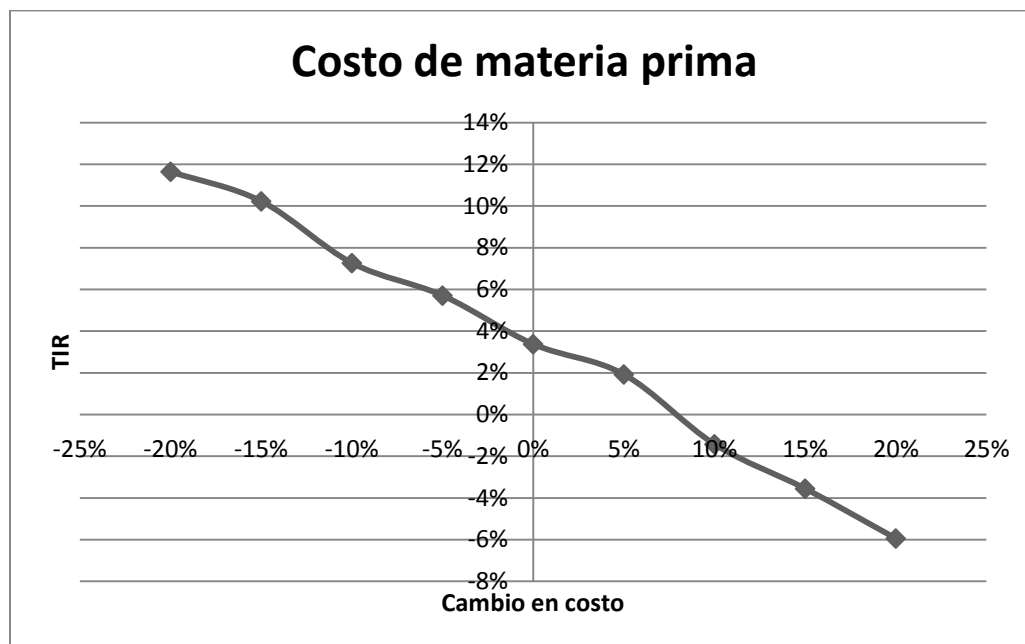
**2. Análisis de TIR.** El análisis de la tasa interna de retorno de este proceso e inversión en nuevas operaciones y equipo se obtuvo en un 3.37%. Esta es una tasa poco atractiva para la empresa y no implica un retorno que sea valioso. Se recupera la inversión inicial en un periodo de tiempo muy largo, y esto puede causar que el inversionista no quiera realizarlo porque no estaría contando con ganancias altas. Por ende, tomando en cuenta esta tasa interna de retorno de la inversión, esta inversión no es recomendada para llevar a cabo en este momento.

**3. Análisis de VPN.** En cuanto a un análisis de valor presente de esta nueva inversión, se obtuvo (\$853,247.62) con una tasa de descuento de 10%, por lo que se observa que financieramente esta inversión es inadecuada para la empresa. La causa de este dato puede ser por el pequeño tiempo de análisis realizado, usualmente los análisis para la factibilidad de generadoras de electricidad, se efectúan por un plazo de 20 años en adelante, pero en el caso de la empresa, no es conveniente esperar un periodo de tiempo más largo, porque igualmente implicaría mayores pérdidas a incurrir.

La tasa de descuento escogida, es aquella que sale de sumarle al rendimiento promedio de un Fondo de Inversión Guatemalteco expresado en dólares, doscientos puntos básicos, (8%+2%).

**4. Análisis de sensibilidad.** Este análisis de sensibilidad se llevo a cabo con una comparación de los cambios en la Tasa Interna de Retorno de esta inversión, realizando cambios con variables claves de este análisis financiero. Las variables consideradas fueron el costo de materia prima, el precio de venta y el costo de la inversión. Al realizar cambios porcentuales en un rango de -20% a 20% en estas variables, se obtuvieron las distintas tasas internas de retorno para así tener un comparativo gráfico. En todos estos análisis, la tasa interna de retorno base es la obtenida originalmente de 3.37%. Estos comparativos se realizaron cambiando solamente la variable en consideración, dejando todas las otras variables constantes.

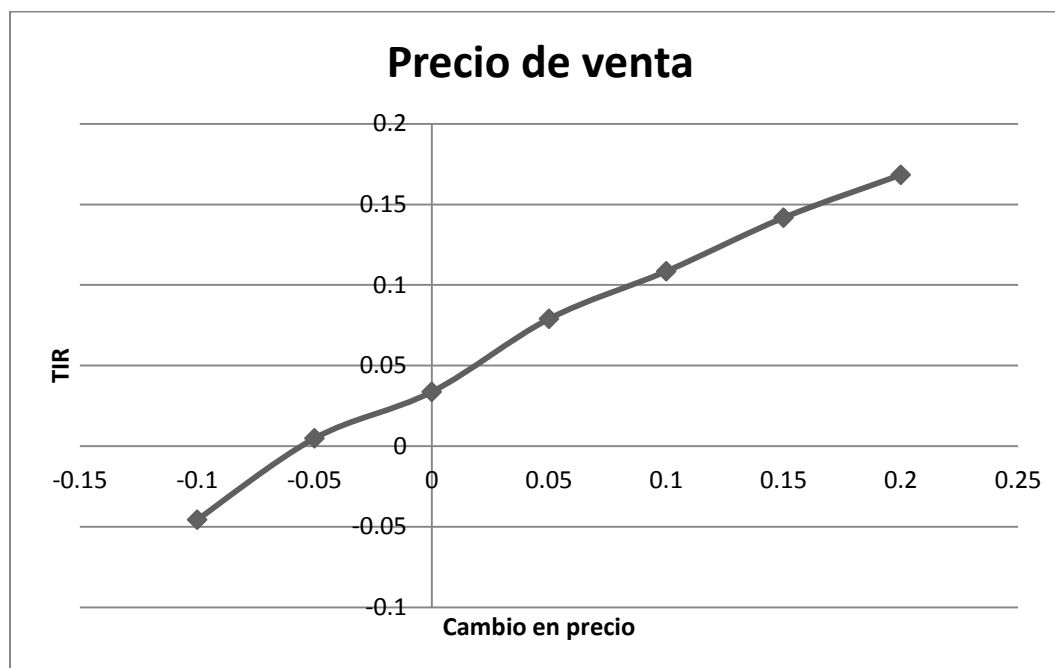
Gráfica 6. TIR vs costo materia prima



El costo de la materia prima es el factor más importante que asegura la factibilidad o no del proceso de generación de energía eléctrica, esto se debe a que el costo promedio para la planta en materia prima es de \$25 por tonelada. Las empresas dedicadas a generación de electricidad por medio de la quema de madera y biomasa, consiguen esta materia prima a un costo promedio de \$5 por tonelada. Por ende, esto dificulta el encontrar un inversionista que está dispuesto a cubrir este elevado costo.

De cualquier manera, el análisis de sensibilidad muestra que a un precio base de \$25 por tonelada, aumentos o disminuciones en este costo, la tasa interna de retorno varía en un rango pequeño por lo que no es suficiente para hacer factible esta inversión. Una disminución de 80% en el precio, hace que el costo sea el deseado por los inversionistas, pero es una disminución muy grande que difícilmente podrá efectuar la empresa.

Gráfica 7. TIR vs precio de venta

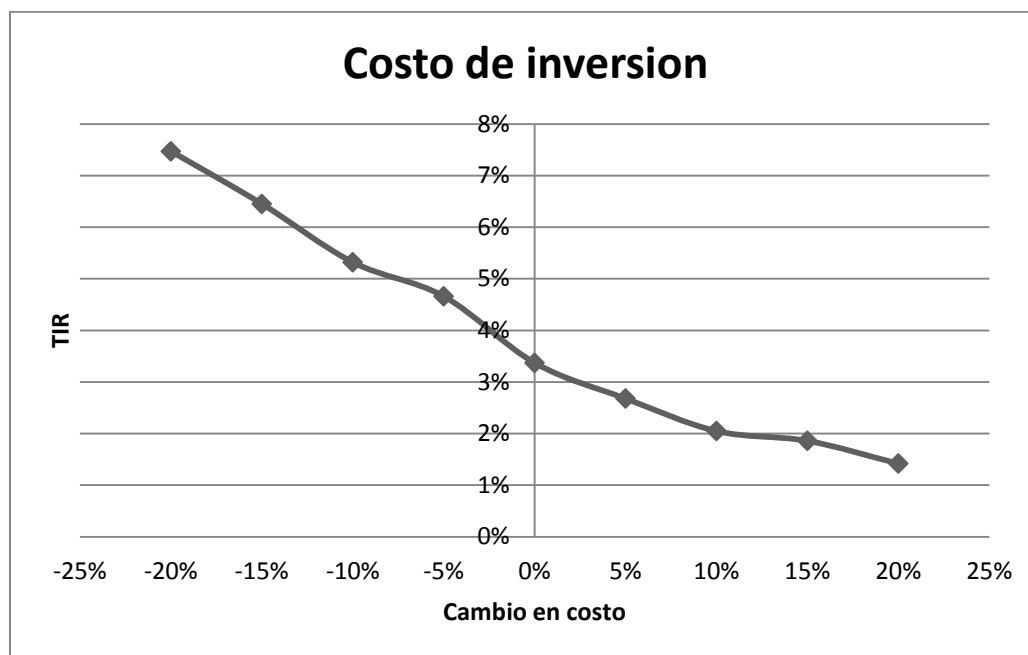


Un aumento o disminución en los precios de venta de energía eléctrica no modificarán sustancialmente situación financiera de la empresa. La dificultad de un aumento en precios de energía eléctrica, es que existen otras empresas competitivas en estas áreas, y al aumentar el precio, se estaría perdiendo la demanda de la misma, ya que fácilmente los usuarios de la electricidad pueden acudir a otra generadora de electricidad. Por ende, un aumento o disminución en precios no es conveniente para la empresa y se debe mantener en el precio establecido de \$0.11 por kwh. Este análisis de sensibilidad en cuanto a precios, tiene como finalidad solamente presentar la factibilidad de este proyecto a ciertos precios de venta, no reflejan los precios de mercado de oportunidades de suministro de energía eléctrica.

La totalidad de la inversión en maquinaria y demás herramientas operativas es alta, por esta razón la empresa buscará uno o varios inversionistas para compartir dicho requerimiento de capital. Dificilmente se puede realizar una disminución grande en cuanto a la inversión, ya que se está adquiriendo maquinaria

nueva o posiblemente usada, pero que por su naturaleza lo más que posiblemente se puede disminuir es un 5%-10% de rebaja, que de cualquier manera no hace factible la inversión.

**Gráfica 8. TIR vs costo de inversión**



### C. Comparativo

**Tabla 18. Comparativo de resultados**

	Cogeneración y briquettes	Generación de electricidad	Liquidación y venta de activos
Tasa Interna de Retorno	171.15%	3.37%	--
Valor Presente Neto	\$2,384,742.50	(\$853,247.62)	0
Retorno de la inversión	0.58 años	29.67 años	--
Valor de Activos Existentes	\$3,500,000.00	\$3,500,000.00	\$3,500,000.00

**Continuación tabla 18. Comparativo de resultados**

	Cogeneración y briquettes	Generación de electricidad	Liquidación y venta de activos
Valor Total	\$5,884,742.50	\$2,646,752.38	\$3,500,000.00

Claramente, se observa que financieramente el proceso de cogeneración y fabricación de briquettes de biomasa, es el proceso de alta factibilidad que debe llevar a cabo la empresa. Estas nuevas operaciones le traerá altos beneficios a la empresa, y este camino deja libre la posibilidad de reactivar las operaciones de producción de tableros de madera para la venta de los mismos en un futuro. Sin embargo será complejo el manejo forestal con el objeto de generar biomasa en donde se requieren diámetros pequeños en ciclos de vida de bosque menores y el manejo forestal con el objeto de producir tableros de madera solida para la venta en donde se requieren diámetros mayores en ciclos de vida de bosque mayores.

La generación de electricidad es un proyecto altamente oneroso, que de acuerdo a la disponibilidad de materia prima y a los costos que puede cubrir la empresa actualmente, no es un proceso factible por lo que no es recomendado efectuarlo en este momento.

## **IX. IMPACTO AMBIENTAL**

### **A. Impacto ambiental en proceso de cogeneración y briquettes**

Existe una falta de experiencia en cuanto a la utilización de briquettes en Guatemala y asimismo en Centro América. Como resultado no existen mercados en desarrollo enfocados en la producción de briquettes de biomasa. Por ende, se debe crear una nueva demanda de estos productos posiblemente para usuarios industriales de desechos naturales de plantas como la industria azucarera.

La industria azucarera, especialmente el ingenio Magdalena y el ingenio Pantaleón, cuentan con generadores de electricidad propios basado en la quema de bagazo en forma de biomasa. Al igual que el proceso propuesto, utilizan el método de cogeneración para generar electricidad y calor. Utilizando briquettes de alta calidad, como lo estaría produciendo la empresa, las industrias azucareras pueden incrementar la eficiencia de producción de energía, disminuyendo pérdidas por la utilización de materia prima inadecuada en el proceso.

Uno de los procesos de consumo masivo de energía para producción, se encuentra en la fabricación de cemento, por lo que se podría ofrecer esta idea de combinar combustibles fósiles con biomasa para realizar una producción de energía más verde y así reducir las emisiones de gases nocivos. Asimismo, en lugar de vender a mayoristas industriales, la empresa podría vender directamente los briquettes de biomasa al menudeo a clientes para consumo propio en sustitución al uso de leña. Estos troncos de biomasa, tienen una larga duración de combustión, aproximadamente tres horas y además emiten mayor cantidad de calor que un tronco natural.

Asimismo, por ser un proyecto con consideración del medio ambiente, se podría entrar al mercado con los bonos de carbono, estos son un mecanismo internacional de descontaminación para reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente; es uno de los tres mecanismos propuestos en el Protocolo de

Kioto para la reducción de emisiones causantes del calentamiento global o efecto invernadero (GEI o gases de efecto invernadero).

Las reducciones de emisiones de GEI se miden en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, y se traducen en Certificados de Emisiones Reducidas (CER). Un CER equivale a una tonelada de CO<sub>2</sub> que se deja de emitir a la atmósfera, y puede ser vendido en el mercado de carbono a países desarrollados que forman parte del protocolo de Kioto y deben comprar CERs para operar legalmente. Los tipos de proyecto que pueden aplicar a una certificación son, por ejemplo, generación de energía renovable, mejoramiento de eficiencia energética de procesos, reforestación, limpieza de lagos y ríos, etc.

El cálculo de un CER se efectúa de acuerdo a la conversión que 20 MW equivalen a 83,000 CERs.

$$\begin{aligned}
 20 \text{ MW} &= 83,000 \text{ CERs} \\
 83,000 \text{ CERs} / 20 \text{ MW} &= 4,150 \text{ CERs/MW} \\
 1 \text{ CERs} &= \$10.00 \\
 2 \text{ MW} * 4.150 \text{ CERs} * \$10 &= \$83,000 \text{ por año}
 \end{aligned}$$

Esta venta de los bonos de carbono, también representan un flujo de dinero anual por tratarse de un proceso de energía renovable. Estos certificados de reducción de emisiones, son regidos por el Decreto 52-2003 y especifica que los propietarios de los proyectos de energía renovable, se beneficiaran de la comercialización de los mismos.

**1. Beneficios.** Los beneficios del uso de la biomasa como un generador de electricidad, fueron mencionados anteriormente. Ahora para lograr vender estos productos a las industrias o a clientes directos, se debe demostrar que el uso de biomasa incrementa exponencialmente la eficiencia, ya que este producto está casi completamente seco y es un producto homogéneo. Por otro lado, si se utiliza con bagazo (del cual no se encuentra seco y homogéneo) esta combinación disminuiría problemas de eficiencia.

Es más económicamente viable el transportar briquettes de biomasa por su alta densidad, a tener que transportar materia prima verde. El briquette es altamente denso, ya que tiene poca humedad y está comprimido a presión. Comparado con los combustibles fósiles, las emisiones de dióxido de carbono y óxido de nitrógeno se disminuyen drásticamente si se utiliza biomasa en lugar de combustibles, por lo que parte de la estrategia de mercadeo debe estar basada en hacer llegar al cliente los beneficios que trae el uso de estos productos.

## **B. Impacto ambiental en proceso de generación de electricidad**

La necesidad de energía eléctrica para todo proceso será indispensable por mucho tiempo, por lo que las generadoras de electricidad siempre estarán en demanda y siempre se tendrá un flujo de demanda constante de energía eléctrica a cualquier precio necesario. Sin electricidad un hogar o una industria no puede funcionar adecuadamente. Por lo tanto aunque la generadora de electricidad que estaría adquiriendo la planta, tiene una capacidad relativamente pequeña, pero esta capacidad es suficiente para hacer funcionar adecuadamente a 2000 hogares.

La producción de energía eléctrica es un sector industrial altamente competitivo, los precios de venta del suministro de energía, se realizan por medio de licitaciones y subastas entre las compañías privadas para la utilización de las redes de suministros de empresas eléctricas de Guatemala. Siendo el suministro de energía eléctrica un sector competitivo, se le dificulta a la planta el lograr llevar a cabo la venta de la energía producida a un precio alto. El precio de venta sería competitivo si se efectúa al precio analizado de \$0.11/kwh. Por ende, aunque se estaría vendiendo esta energía con el calificativo de energía "verde", ninguna empresa o ningún cliente va a estar dispuesto a pagar precios más altos a los del promedio utilizado para el análisis, solamente porque es una energía renovable la que se está consumiendo.

Por esta razón, no es factible ni económicamente ni técnicamente este proceso de generación de electricidad, ya que por un ahorro en impacto ambiental, la planta estaría teniendo muy pocas ganancias y difícilmente lograría la venta completa de toda la energía eléctrica que estaría produciendo.

**1. Beneficios.** Desde un entorno ambiental, la producción de energía eléctrica con una fuente de materia prima natural, implica que la energía es "verde". Es decir, no se emitió más dióxido de carbono del que se había absorbido naturalmente por parte del árbol durante el proceso de fotosíntesis. Además de ser una fuente de energía eléctrica "verde", se puede utilizar esto como una estrategia de mercadeo para la venta de la misma a empresas que se declaran como consientes del cuidado del medio ambiente y dispuestas a realizar su parte para poder proteger el medio ambiente de las emisiones nocivas de los combustibles fósiles.

## X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### A. Conclusiones

- La biomasa es un insumo factible para ser utilizado como materia prima para la fabricación de briquettes.
- Técnicamente, las alternativas de conversión a planta productora de briquettes de biomasa y a planta de generación de energía eléctrica son viables.
- Financieramente, convertir la planta de madera en una planta productora de briquettes de biomasa es de mayor beneficio que convertirla en una planta de energía eléctrica o llevar a cabo la liquidación y venta de activos.
- La conversión a planta de generación de energía eléctrica, requiere de una inversión altamente onerosa y de acuerdo a la capacidad de producción de la planta y precios de venta de energía eléctrica, no es factible llevarla a cabo.
- Ecológicamente, es de mayor beneficio para el medio ambiente la conversión a la planta en productora de briquettes, ya que en este proceso si se lleva a cabo un manejo adecuado de los bosques, se evita la deforestación extrema y asimismo se reducen las emisiones de carbono.

## **B. Recomendaciones**

- No se recomienda optar por la alternativa de venta y liquidación de activos, ya que se tiene el potencial para un nuevo mercado en la fabricación de briquettes de biomasa.
- No se recomienda optar por la alternativa de generación de energía eléctrica, este proceso no es rentable a corto plazo y la capacidad de generación es muy pequeña para competir en el mercado.
- Es recomendable realizar los cambios e inversiones necesarias para convertirse en productora de biomasa, para poder volver a asegurar ingresos sostenibles para la planta.
- Antes de llevar a cabo la decisión sobre el camino a tomar, la planta debe asegurar oficialmente el precio de compra de los nuevos productos que estaría fabricando. Asimismo para oficializar el precio de compra, se debe asegurar un contrato notariado de compra de briquettes para minimizar riesgos.
- Debido a que se trata de un mercado nuevo en Guatemala, se recomienda cuantificar el valor de la marca para así establecer una demanda adecuada en el país.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

### A. Bibliografía

- Agencia Alemana de Energía. Ministerio Federal de Economía y Tecnología. (2010). *Energías Renovables "Made in Germany"*. Berlin, Alemania: Silber Druck oHG.
- Belmar, A.R. (n.d.). *Cogeneración usando desechos de madera como combustible principal*. Tomado de <http://www.fao.org/docrep/T2363s/t2363s0d.htm>.
- Biomass Energy Centre. Forest Research. (2008). *Why use Biomass?*. United Kingdom. Tomado de [http://www.biomassenergycentre.org.uk/portal/page?\\_pageid=76,15068&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://www.biomassenergycentre.org.uk/portal/page?_pageid=76,15068&_dad=portal&_schema=PORTAL)
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Informe Estadístico. (2011). *Mercado Mayorista de Electricidad de la Republica de Guatemala correspondiente al año 2010*. Guatemala. Tomado de <http://www.cnee.gob.gt/xhtml/memo/Informe%20estadistico%202011.pdf>
- Diagrama de Flujo. (n.d.). *Introducción al Diagrama de Flujo*. Tomado de [http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/gallery/methodology/tools/diagrama\\_de\\_flujo.pdf](http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/gallery/methodology/tools/diagrama_de_flujo.pdf)
- EduFinanzas. (2007). *Tributación*. Guatemala. Tomado de [http://edufinanzas.com.gt/finanzas\\_personales/tributacion/impuestos\\_guatemala](http://edufinanzas.com.gt/finanzas_personales/tributacion/impuestos_guatemala)
- Energías Renovables de Castilla y León. (n.d.). *Calderas de Biomasa*. España. Tomado de <http://www.ercyl.com/biomasa.php>.
- Energy Technology Essentials. IEA Network. (2007). *Biomass for Power Generation and CHP*. (n.d.) Tomado de <http://www.iea.org/techno/essentials3.pdf>.

- ENERSILVA. SUDOE. (2010). *La Biomasa*. España. Tomado de <http://enersilva.org/biomasaenergetica.htm>
- Ente Nacional de la Energía. Junta de Castilla y León. (2006). *Planta de cogeneración con biomasa forestal y residuos de industria de primera transformación de la madera en Talosa*. Castilla y León, España. Tomado de [http://www.ctfc.es/infobio/docs/Cogeneracion\\_Biomasa\\_Forestal\\_TALOSA.pdf](http://www.ctfc.es/infobio/docs/Cogeneracion_Biomasa_Forestal_TALOSA.pdf).
- Esteban, E.T. (2000). *El aprovechamiento maderero*. Madrid, España: Mundi Prensa Libros.
- Esteban, E.T. (2009). *Manual técnico para el aprovechamiento y elaboración de biomasa forestal*. Madrid, España: Mundi-Prensa Libros.
- Instituto Nacional de Bosques. (n.d.). *Quiénes Somos?*. Guatemala, Guatemala. Tomado de <http://200.30.150.38/Paginas%20web/acercade.aspx>
- MadePron. (n.d.). *Plantación y Aserríos*. Guayaquil, Ecuador. Tomado de <http://madepron.com.ec/esp/Madepron/madepron.html>
- Miliarium. (2004). *Biomasa*. (n.d.). Tomado de [http://www.miliarium.com/monografias/energia/e\\_renovables/biomasa/biomasa.asp](http://www.miliarium.com/monografias/energia/e_renovables/biomasa/biomasa.asp).
- Miliarium. (2004). *Cogeneración*. (n.d.). Tomado de [http://www.miliarium.com/monografias/energia/Eficiencia\\_Energetica\\_Renovables/Cogeneracion.htm](http://www.miliarium.com/monografias/energia/Eficiencia_Energetica_Renovables/Cogeneracion.htm)
- Ministerio de Energía y Minas. Dirección General de Energía. (2011). *Decreto Numero 52-2003 Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable*. Guatemala. Tomado de [http://www.infoiarna.org.gt/media/file/areas/recursos/legislacion/ley\\_incentivos%20energiarenovable.pdf](http://www.infoiarna.org.gt/media/file/areas/recursos/legislacion/ley_incentivos%20energiarenovable.pdf)
- Moo-Young, M., Hasnain, S., & Lamptey, J. (1986). *Biotechnology and renewable energy*. London, England: Elsevier Applied Science.

- Obregon, C.. (2004) Revista MM. *Gmelina Arborea. Versatilidad, Renovación y Productividad sostenible para el Futuro*. España.
- Patrickson, C.A.. ARAUCO. (2008). *La cogeneración con biomasa forestal en el contexto energético nacional*. (n.d.) Tomado de [http://www.cormabiobio.cl/expo2008/www/presentaciones/Expositores%20Celulosa%20y%20papel%20pdf/Presentacion\\_C.\\_Patrickson.pdf](http://www.cormabiobio.cl/expo2008/www/presentaciones/Expositores%20Celulosa%20y%20papel%20pdf/Presentacion_C._Patrickson.pdf).
- Princeton Blog. Princeton. (n.d.). *Biomass vs. Fossil Fuels*. United States. Tomado de [http://blogs.princeton.edu/chm333/f2006/biomass/comparison/biomass\\_vs\\_fossil\\_fuels/](http://blogs.princeton.edu/chm333/f2006/biomass/comparison/biomass_vs_fossil_fuels/)
- Royal Botanical Gardens. (2009). *Gmelina Arborea (Gamhar)*.Asia. Tomado de <http://www.kew.org/plants-fungi/Gmelina-arborea.htm>
- Sofer, S.S., & Zaborsky, O.R. (1981). *Biomass conversion processes for energy and fuels*. New York, USA: Plenum Press.
- Union of Concerned Scientists. Clean Energy. (2010). *How Biomass Energy Works*. Cambridge, Massachusetts, United States. Tomado de [http://www.ucsusa.org/clean\\_energy/technology\\_and\\_impacts/energy\\_technologies/how-biomass-energy-works.html](http://www.ucsusa.org/clean_energy/technology_and_impacts/energy_technologies/how-biomass-energy-works.html)

## XII. ANEXOS

### A. Información sobre Cotizaciones de Inversión

Las cotizaciones de inversión se llevaron a cabo con investigaciones en internet, comunicación vía correo electrónico e información investigada previamente por la empresa. A continuación se presentan las tablas con información acerca de los proveedores de las maquinarias cotizadas, así como datos de maquinaria y otros implementos de construcción que habían sido investigados previamente por la empresa.

**Tabla 19. Cotizaciones de inversión, fabricación de briquettes**

Descripción	Compañía	País	Persona de contacto	Detalles de contacto
Reducción de materia prima (astillado y molino)	Pezzolato S.p.A.	Italia	Ing. Giacomo Puppo	giacomo.puppo@pezzolato.it
	Muyang	China	Tim Xu	timxu@muyang.com
Secado	Jay Khodiyar Machine Tools	India	Mihir Soneji	export@jaykhodiyargroup.com
Briquettes	CF Nielsen A/S	Dinamarca		sales@cfnielsen.com
Silos				
Almacenamiento				
Cinturones de transporte	Costos realizados por la empresa anteriormente.			
Obra civil				
Costo transporte de equipo				
Cableado de electricidad				
Instalaciones temporales				
Ingeniería				

**Tabla 20. Cotizaciones de inversión, generación de electricidad**

Descripción	Compañía	País	Persona de contacto	Detalles de contacto
Reducción de materia prima (astillado)	Pezzolato S.p.A.	Italia	Ing. Giacomo Puppo	giacomo.puppo@pezzolato.it
Maquinaria de Generación	Alstom Energy Solutions	Estados Unidos /Francia	Gayle Wooster	Gayle.wooster@alstom.com
Silos				
Almacenamiento				
Cinturones de transporte				
Cableado de Electricidad				
Costo transporte de equipo	Costos realizados por la empresa anteriormente			
Otros costos				
Obra Civil				
Instalaciones temporales				
Ingeniería				
Otros costos				

### 1. Cálculo de costos de producción proceso de briquettes

$$\text{Materia Prima: } 25 \frac{\$}{\text{Ton madera verde}} * 1.8 \frac{\text{Tonelada Verde}}{\text{Ton Briquettes}} = 45 \frac{\$}{\text{Ton Briquettes}}$$

$$\text{Secado: } \frac{35 \frac{\$}{\text{Ton madera verde}} * 60\% \text{ eficiencia}}{1.8 \frac{\text{Tonelada Seca}}{\text{Tonelada Verde}}} = 11.67 \frac{\$}{\text{Ton de Briquettes}}$$

$$\text{Electricidad} = \text{Consumos electricos (73 kwh)} * 0.19 \frac{\$}{\text{kwh}} = 13.87 \frac{\$}{\text{Ton de Briquettes}}$$

$$Personal = \frac{((470 * 3) + (270 * 32)) * 12 \text{ meses}}{20000 \text{ ton anuales}} = 6.03 \frac{\$}{\text{Ton de Briquettes}}$$

$$Mantenimiento = \frac{\$ 20000}{20000 \text{ ton}} = \frac{1\$}{\text{Tonde Briquettes}}$$

## 2. Cálculo de costos de producción proceso de generación de electricidad

$$Materia Prima: 25 \frac{\$}{\text{Ton madera verde}}$$

$$Personal = \frac{((470 * 4) + (270 * 40)) * 12 \text{ meses}}{25000 \text{ ton anuales}} = 6.08 \frac{\$}{\text{Ton}}$$

$$Mantenimiento = \frac{\$ 30000}{25000 \text{ ton}} = \frac{1.2\$}{\text{Ton}}$$

Estos costos se encuentran en \$/Tonelada, pero debido a que cuando la materia prima es ingresada a la generadora, es imposible llevar un control del costo de producción por tonelada ingresada, por ende se convierten estos totales anualizados en \$/KWH para un mejor manejo de los procesos operativos.

$$Materia Prima: \frac{625000 \frac{\$}{\text{ano}} * \frac{1 \text{ ano}}{8400 \text{ horas}}}{\frac{2000 \text{ kw}}{1 \text{ hora}}} = 0.0372 \frac{\$}{\text{kwh}}$$

$$\text{Personal} : \frac{152158 \frac{\$}{\text{ano}} * \frac{1 \text{ ano}}{8400 \text{ horas}}}{\frac{2000 \text{ kw}}{1 \text{ hora}}} = 0.0091 \frac{\$}{\text{kwh}}$$

$$\text{Mantenimiento} : \frac{30000 \frac{\$}{\text{ano}} * \frac{1 \text{ ano}}{8400 \text{ horas}}}{\frac{2000 \text{ kw}}{1 \text{ hora}}} = 0.0018 \frac{\$}{\text{kwh}}$$

$$\text{Depreciacion} : \frac{152933 \frac{\$}{\text{ano}} * \frac{1 \text{ ano}}{8400 \text{ horas}}}{\frac{2000 \text{ kw}}{1 \text{ hora}}} = 0.0091 \frac{\$}{\text{kwh}}$$

**3. Cálculo de Valor Presente Neto y Tasa Interna de Retorno, Fabricación de Briquettes.** El Valor Presente Neto consiste en determinar la equivalencia en el año 0 de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y así comparar esta equivalencia con el desembolso inicial. En este caso se calculan los flujos de caja de los próximos 10 años en valor presente y se le resta la inversión inicial de \$250,000.

**Tabla 21. Flujos de caja libre, fabricación de Briquettes**

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	
Flujos de Caja Libre	427,411	428,661	429,911	431,161	
Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
412,411	433,661	434,911	436,161	437,411	418,661

El Valor Presente Neto obtenido fue de \$ 2,384,742.50.

La Tasa Interna de Retorno de una inversión es la tasa de descuento en la cual el valor presente neto de los costos de la inversión equivale al valor presente neto de las ganancias de la inversión. Mientras más alta sea la tasa interna de retorno, mas beneficios se tendrán. Esta se calcula tomando todos los flujos de caja libre de la inversión, más la inversión inicial,

La Tasa Interna de Retorno obtenida fue de 171.15%.

**4. Cálculo de Valor Presente Neto y Tasa Interna de Retorno, Generación de Electricidad.** El valor presente neto consiste en determinar la equivalencia en el año 0 de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y así comparar esta equivalencia con el desembolso inicial. En este caso se calculan los flujos de caja de los próximos 15 años en valor presente y se le resta la inversión inicial de \$2,309,000.

**Tabla 22. Flujos de caja libre, generación de electricidad**

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7
Flujos de Caja Libre	163,103	170,030	176,957	153,884	160,811	197,738	204,665
Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
211,592	188,519	195,446	255,543	255,543	255,543	225,543	225,543

El Valor Presente Neto obtenido fue de \$ (853,247.62).

La Tasa Interna de Retorno de una inversión es la tasa de descuento en la cual el valor presente neto de los costos de la inversión equivale al valor presente neto de las ganancias de la inversión. Mientras más alta sea la tasa interna de retorno, mas beneficios se tendrán. Esta se calcula tomando todos los flujos de caja libre de la inversión, más la inversión inicial,

La Tasa Interna de Retorno obtenida fue de 3.37%