

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA A PARTIR DE LOS RESIDUOS DEL PROCESO DE TRILLADO DE  
CAFÉ**

**OSCAR DAVID CHACÓN MALDONADO**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN ENERGÍA  
BUCARAMANGA**

**2.005**

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA GENERACION DE ENERGIA  
ELECTRICA A PARTIR DE LOS RESIDUOS DEL PROCESO DE TRILLADO DE  
CAFÉ**

**OSCAR DAVID CHACON MALDONADO**

**Informe final de trabajo de grado como requisito para optar al título de  
Ingeniero en Energía**

**Director**

**MARÍA FERNANDA GÓMEZ GALINDO**

**Ingeniera Química**

**MsC. en Ingeniería en Energías Renovables**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA  
ESCUELA DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN ENERGÍA  
BUCARAMANGA**

**2.005**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Firma de Jurado

---

Firma de Jurado

Bucaramanga, 22 de Diciembre de 2.005

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi familia, especialmente a mis padres y abuelos, quienes con su apoyo incondicional, sus consejos y esfuerzos, me han guiado siempre en la hermosa labor de aprender.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar quiero agradecer a Dios, por darme la oportunidad de culminar este proyecto.

También quiero agradecer a la directora del trabajo de grado, la ingeniera María Fernanda Gómez, por su apoyo y paciencia durante el transcurso de la realización del mismo, y por su dedicación para poder llegar a concluirlo con éxito.

A mis compañeros y a todas aquellas personas que me acompañaron durante todo este proceso.

A los miembros de la Universidad Autónoma de Bucaramanga, en especial de la Facultad de Ingeniería en Energía, por proporcionar las herramientas y los recursos necesarios para la realización del trabajo de grado.

## **RESUMEN**

El estudio realizado en este trabajo, se basa en analizar la posibilidad de utilizar como fuente energética, un desecho generado por los procesos de las empresas dedicadas a la trilla de café pergamino y exportación de café excelso, buscando a la vez, dar una solución a un problema de tipo económico, generando ahorros en los futuros consumos de energía eléctrica de las plantas que se dedican a estos procesos.

El principal objetivo de dicha idea es la de identificar la factibilidad de aprovechar la cascarilla del café, utilizándola como combustible, en un sistema de generación de energía eléctrica. Durante el desarrollo del trabajo se busca, qué método de generación es más factible técnicamente teniendo en cuenta las características de la empresa en donde se elabora el estudio.

Teniendo en cuenta las experiencia previas en este tema, y las vividas durante la elaboración del proyecto, se pudo concluir que en nuestro país, el tipo de equipos requeridos, no se encuentra muy fácilmente en el mercado, por esta razón se hace prácticamente necesaria la importación directa, lo cual, reduce las posibilidades de factibilidad económica de un proyecto de este tipo.

## CONTENIDO

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>13</b>
<b>1. LA BIOMASA COMO FUENTE ENERGÉTICA</b>	<b>14</b>
1.1 LA BIOMASA	14
1.2 TIPOS DE BIOMASA	15
1.2.1 Biomasa Natural	15
1.2.2 Biomasa Residual Seca	15
1.2.3 Biomasa Residual Húmeda	16
1.2.4 Cultivos Energéticos	16
1.2.5 Biocombustibles	16
1.3 IMPORTANCIA ENERGÉTICA DE LA BIOMASA	16
1.4 APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA	18
1.4.1 Generación de Energía Térmica	19
1.4.2 Generación de Energía Eléctrica	19
1.4.3 Generación de Energía Mecánica	20
1.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE LA BIOMASA	21
1.6 EXPERIENCIA EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZANDO BIOMASA	23
1.6.1 Central Eléctrica	23
1.6.2 Unidad de Generación Eléctrica con Cascarilla de Café	24
<b>2. GENERALIDADES DEL SECTOR Y POSIBLES FORMAS DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO</b>	<b>25</b>
2.1 GENERALIDADES DEL SECTOR CAFETERO	25

2.1.1 Contexto Internacional	25
2.1.2 Contexto Nacional	27
2.2. EL CICLO PRODUCTIVO DEL CAFÉ	29
2.2.1 Beneficio	29
2.2.2 Trilla	30
2.2.3 Selección	31
2.2.4 Tasa	31
2.2.5 Torrefacción	31
2.2.6 Molienda	32
2.3 LOS SUBPRODUCTOS DEL SECTOR CAFETERO	32
2.4.1 Sistemas Basados en la Combustión del Recurso	34
2.4.2 Sistemas Basados en la Gasificación del Recurso	35
2.5 ASPECTOS TERMODINÁMICOS QUE ENMARCAN LOS SISTEMAS DE VAPOR Y GAS	36
2.5.1 Principios Termodinámicos	36
2.5.2 Tipos de Ciclos Termodinámicos	37
2.5.3 Descripción de Posibles Ciclos a Usar Para la Generación de Energía Eléctrica a Partir de la Cascarilla de Café	38
<b>3. UTILIZACIÓN DE LA BIOMASA EN LA TRILLADORA BUCARAMANGA. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS</b>	<b>46</b>
3.1 DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO “TRILLADORA BUCARAMANGA”	46
3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRILLADO DE CAFÉ EN LA TRILLADORA BUCARAMANGA	47
3.3 ANÁLISIS DE DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA TRILLADORA BUCARAMANGA	49
3.4. ANÁLISIS DE LA OFERTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE LA CASCARILLA DE CAFÉ	52
3.5. SELECCIÓN DEL SISTEMA	54

<b>4. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD</b>	<b>56</b>
4.1 OFERTA Y DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA TRILLADORA BUCARAMANGA	56
4.1.1 Demanda	56
4.1.2 Perfil Real de Consumo de Energía en la Empresa	59
4.2. OFERTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA	61
4.3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PARA EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE LA COMBUSTIÓN DE LA CASCARILLA DE CAFÉ	63
4.3.1 Caldera	63
4.3.2 Turbina de Vapor	65
4.3.3 Condensador	65
4.3.4 Bomba	66
4.4 DIMENSIONAMIENTO. ASPECTOS TÉCNICOS	67
4.5 ANÁLISIS ECONÓMICO	69
4.5.1 Descripción de Equipos Necesarios	69
4.5.2 Resumen de Costos	71
4.5.3 Flujo de Caja	72
4.5.4 Análisis de Sensibilidad	76
4.5.5 Flujo de Caja Sin Financiación	79
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>81</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>83</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Definición de Biomasa	15
Figura 2. Producción Mundial de Café Verde	28
Figura 3. Producción Nacional de Café Verde. Año 2000 – 2004	28
Figura 4. Esquema General de una Instalación Para Gasificación	36
Figura 5. Esquema del Ciclo de Carnot	39
Figura 6. Diagrama T-s del Ciclo de Carnot	39
Figura 7. Diagrama T-s del Ciclo Rankine	41
Figura 8. Diagrama T-s del Ciclo Brayton	44
Figura 9. Diagrama P-v del Ciclo Brayton	44
Figura 10. Plano de Planta de la Empresa - Planta Baja	50
Figura 11. Plano de Planta de la Empresa - Planta Alta	51
Figura 12. Producción de Cascarilla en la Trilladora Bucaramanga	53
Figura 13. Consumo Promedio de Energía Eléctrica - Últimos Tres Años	60
Figura 14. Balance de Masa Para un Día de Producción Alta	62
Figura 15. Proceso Básico Para Generación de Energía Eléctrica	63
Figura 16. Caldera	64
Figura 17. Turbina de Vapor	65
Figura 18. Condensador de Vapor	66
Figura 19. Bomba	67

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Contenido Energético de Algunos Recursos Definidos Bajo el Término Biomasa Residual Seca	17
Tabla 2. Contenido Energético de Algunos Recursos Comprendidos Bajo el Término Biomasa Residual Húmeda	18
Tabla 3. Ventajas y Desventajas de la Generación Eléctrica a Partir de Biomasa	21
Tabla 4. Cuadro de Carga de la Trilladora Bucaramanga	52
Tabla 5. Caracterización Físico-Química de la Cascarilla de Café	53
Tabla 6. Factores de Demanda Establecidos Por la ESSA	57
Tabla 7. Factores de Diversidad Establecidos Por la ESSA	58
Tabla 8. Consumo Promedio Mensual de Energía Eléctrica - Últimos Tres Años	60
Tabla 9. Propiedades Calculadas Para Los Puntos Del Proceso	68
Tabla 10. Especificaciones de la Turbina	70
Tabla 11. Costo Total Del Sistema	72
Tabla 12. Costos de Operación y Mantenimiento Anuales	72
Tabla 13. Resumen Flujo Neto de Caja	75
Tabla 14. Flujo Neto de Caja, Disminuyendo 10 % Del Costo de la Inversión	76
Tabla 15. Flujo Neto de Caja, Disminuyendo 20 % Del Costo de la Inversión	77
Tabla 16. Flujo Neto de Caja, Disminuyendo 50 % Del Costo de la Inversión	78
Tabla 17. Flujo Neto de Caja, Sin Financiación	79

## ANEXOS

	<b>pág.</b>
ANEXO A. Desarrollo Termodinámico de la Planta	85
ANEXO B. Análisis Económico Para la Alternativa de Autogeneración Propuesta	99

## INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta que Colombia es un país de tradición cafetera, y que la industria de este grano es una de las más firmes y de mayor importancia en nuestro país, en los últimos años han surgido, tras el conocimiento de nuevas fuentes para obtener energía eléctrica, una serie de inquietudes y necesidades por mejorar los procesos que conforman cada una de las etapas de la producción del café.

Dentro de los procesos finales que tiene la cadena productiva del café, se encuentra la el proceso de trilla, el cual es de gran importancia, porque en él se seleccionan los granos de calidad de exportación. Este proceso consiste básicamente en remover la cascarilla del café seco, que viene de las fincas cafeteras, y seleccionarlo por peso y color para definir cuál grano cumple con las especificaciones exigidas para la exportación. Para la elaboración de este proceso, se requieren equipos netamente eléctricos, lo cual hace que los costos del proceso se eleven considerablemente debido al precio de la energía.

La propuesta planteada en este proyecto, consiste en aprovechar el residuo que generan las plantas trilladoras de café, para buscar utilizar dicho residuo como combustible, ya que en este momento se le está dando ese uso en la industria de la mampostería. La autogeneración de energía eléctrica representaría para el sector de la trilla del café, una reducción de los costos en sus procesos productivos, lo cual sería de gran importancia, porque la economía del sector se mejoraría en gran medida. Con base en lo mencionado anteriormente, se plantean alternativas en el proyecto, para alcanzar el objetivo planteado.

## **1. LA BIOMASA COMO FUENTE ENERGÉTICA**

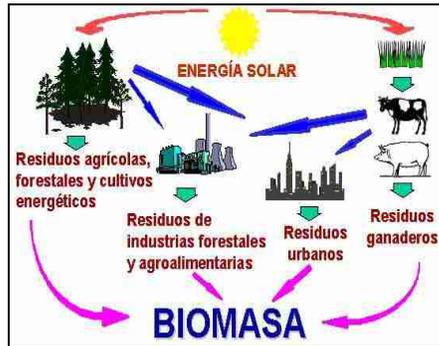
En este capítulo se describe de una manera general el concepto de biomasa, las diferentes formas en que se puede encontrar en nuestro entorno y las clases o tipos en las cuales se divide, según su estado. Además de lo anterior, se muestra cuales son sus formas de aprovechamiento a nivel energético, por qué es importante energéticamente y finalmente se concluye con algunas ventajas, desventajas y algunas experiencias que presenta el aprovechamiento de la biomasa como combustible.

### **1.1 LA BIOMASA**

La biomasa es una fuente renovable de energía constituida por la materia orgánica proveniente de diversos orígenes, como por ejemplo desechos agrícolas, forestales, animales, domésticos, urbanos o de cultivos de dedicación específica. Su utilización data de los comienzos de la humanidad; nuestros antepasados descubrieron que usando y quemando madera, podían obtener calor.

La madera es considerada como el combustible más antiguo dentro de la biomasa. Pero, además de la madera hay otros combustibles como las hojas y los residuos orgánicos, que también pueden ser utilizados para producir energía. Tal es el caso de los residuos generados en la agroindustria del café, que se proponen en este trabajo como fuente de energía primaria en la generación de electricidad. En la Figura 1 se puede ver una definición ilustrada de todo lo que se ha definido como biomasa anteriormente.

**Figura 1. Definición de Biomasa**



Fuente: La Biomasa Como Fuente de Energía Renovable. Fernando Sebastián, Javier Royo, CIRCE. Universidad de Zaragoza. 2002.

## 1.2 TIPOS DE BIOMASA

Existen diferentes tipos o fuentes de biomasa que pueden ser utilizados para suministrar la demanda de energía de una instalación. Una de las clasificaciones más aceptada es la siguiente:

**1.2.1 Biomasa Natural.** Es la que se produce espontáneamente en la naturaleza sin ningún tipo de intervención humana. Los recursos generados en las podas naturales de un bosque constituyen un ejemplo de este tipo de biomasa. La utilización de estos recursos requiere de la gestión de su adquisición y transporte hasta la empresa, lo que puede provocar que su uso no sea viable económicamente.

**1.2.2 Biomasa Residual Seca.** Se incluyen en este grupo los subproductos sólidos no utilizados en las actividades agrícolas, en las forestales y en los procesos de las industrias agroalimentarias y de transformación de la madera y que, por tanto, son considerados residuos. Este es el grupo que en la actualidad presenta un mayor interés desde el punto de vista del aprovechamiento industrial. Algunos ejemplos de este tipo de biomasa son: la cáscara de almendra, las podas de frutales, el aserrín, y la cascarilla de café (objeto de este trabajo), entre otros.

**1.2.3 Biomasa Residual Húmeda.** Son los vertidos denominados biodegradables: las aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos.

**1.2.4 Cultivos Energéticos.** Son cultivos realizados con la única finalidad de producir biomasa transformable en combustible. Algunos ejemplos son el cardo (*cynara cardunculus*<sup>1</sup>), el girasol y la palma, cuando se destina a la producción de biocombustibles, etc.

**1.2.5 Biocombustibles.** Aunque su origen se encuentra en la transformación tanto de la biomasa residual húmeda (por ejemplo reciclado de aceites) como de la biomasa residual seca, rica en azúcares (trigo, maíz, etc.), o en los cultivos energéticos (colza, girasol, etc.), por sus especiales características y usos finales este tipo de biomasa exige una clasificación distinta de las anteriores.

### **1.3 IMPORTANCIA ENERGÉTICA DE LA BIOMASA**

En muchas ocasiones, la biomasa se elimina por ser molesta para la instalación que la produce o porque entorpece las labores agrarias o ganaderas que la generan. Cuando esto ocurre, se está desperdiciando una fuente de energía importante; basta recordar que considerando que, por término medio, un kilogramo de biomasa permite obtener 3.500 kcal y que un litro de gasolina tiene aproximadamente 10.000 kcal, por cada tres kilogramos que desperdiciamos de biomasa, se desaprovecha el equivalente a un litro de gasolina.

Habitualmente, el contenido energético de la biomasa se mide en función del poder calorífico del recurso (P.C.), aunque para algunos de ellos, como es el caso de la biomasa residual húmeda o de los biocombustibles, se determina en función del poder calorífico del producto energético obtenido en su tratamiento.

---

<sup>1</sup> Planta del Sur de Europa, con hojas espinosas y flores púrpuras, cultivadas por sus raíces y tallos comestibles.

En la Tabla 1 se muestra el poder calorífico inferior a distintos contenidos de humedad de algunos de los recursos de biomasa más comunes.

**Tabla 1. Contenido Energético de Algunos Recursos Definidos Bajo el Término Biomasa Residual Seca**

<b>P.C.I. a diferentes % de humedad (BTU/Kg)</b>						
<b>PRODUCTO</b>	<b>% Humedad</b>	<b>P.C.I</b>	<b>% Humedad</b>	<b>P.C.I</b>	<b>% Humedad</b>	<b>P.C.I</b>
<b>Leñas y ramas</b>	0	8339	20	6466	40	4593
<b>Serrines y virutas</b>	0	8217	15	6826	35	4971
<b>Orujillo de oliva</b>	0	8118	15	6808	35	5061
<b>Cáscara de almendra</b>	0	7997	10	7097	15	6646
<b>Cortezas (Coníferas)</b>	0	8376	20	6574	40	4773
<b>Cortezas (Fronosas)</b>	0	7853	20	6070	40	4287
<b>Poda de frutales</b>	0	7709	20	5962	40	4215
<b>Paja de cereales</b>	0	7385	10	6538	20	5692
<b>Vid (Sarmientos)</b>	0	7655	20	5908	40	4161
<b>Vid (Ramilla de uva)</b>	0	7439	25	5314	50	3188
<b>Vid (Piel de uva)</b>	0	8142	25	5836	50	3530

Fuente: La Biomasa Como Fuente de Energía Renovable. Fernando Sebastián, Javier Royo, CIRCE. Universidad de Zaragoza. 2002.

Por otra parte, como no se puede llevar a cabo la combustión directa de la biomasa residual húmeda, su contenido energético puede determinarse en función del biogás que genera después de su digestión anaerobia. La cantidad de biogás generado y su contenido energético dependen de las características del sustrato tratado y de la tecnología empleada.

En la Tabla 2 se muestra el potencial energético medio de algunos recursos.

**Tabla 2. Contenido Energético de Algunos Recursos Comprendidos Bajo el Término Biomasa Residual Húmeda**

<b>Sustrato</b>	<b>Cantidad de Gas a 30 °C en l/kg de Residuo Seco</b>	<b>Contenido en Metano (%)</b>	<b>P.C.I. (kcal/m<sup>3</sup> de biogás)</b>
<b>Estiércol con paja</b>	286	75	6.1
<b>Excrementos de vaca</b>	237	80	6.5
<b>Excrementos de cerdo</b>	257	81	6.6
<b>Agua residual urbana</b>	100 (por m <sup>3</sup> de agua tratado)	65	5.3

Fuente: "La biomasa como fuente de energía renovable" Fernando Sebastián, Javier Royo, CIRCE, Universidad de Zaragoza, 1 Noviembre 2002.

Por último, en el caso de los biocombustibles, éstos presentan un P.C. ligeramente inferior al de los combustibles fósiles tradicionales, aproximadamente el 10%.<sup>2</sup>

#### **1.4 APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA**

Con biomasa se puede generar energía térmica (agua o aire caliente, vapor, etc.), energía eléctrica e incluso mecánica, mediante el uso de biocombustibles en motores de combustión interna.

Cuando se desea generar energía con biomasa se puede optar por diferentes sistemas tecnológicos. La elección entre uno y otro depende de las características de los recursos, de la cantidad disponible y del tipo de demanda energética requerida.

---

<sup>2</sup> Tomado de: La Biomasa Como Fuente de Energía Renovable. Fernando Sebastián, Javier Royo, CIRCE. Universidad de Zaragoza. 2002.

En general, los sistemas comerciales existentes en el mercado para utilizar la biomasa residual seca se pueden clasificar en función de que estén basados en la combustión del recurso o en su gasificación; los que aprovechan el contenido energético de la biomasa residual húmeda están basados en su digestión anaerobia y, por último, para ambos tipos de recursos, existen tecnologías que posibilitan la obtención de biocombustibles.

Existen diferentes opciones para el aprovechamiento energético de la biomasa, entre los cuales se encuentran:

**1.4.1 Generación de Energía Térmica.** El sistema más común para este tipo de aprovechamiento, está basado en la combustión de biomasa sólida, aunque también es posible quemar el biogás procedente de la digestión anaerobia de un residuo líquido o el gas de síntesis generado en la gasificación de uno sólido.

**1.4.2 Generación de Energía Eléctrica.** En función del tipo y cantidad de biomasa disponible varía la tecnología más adecuada a emplear para este fin:

- ✓ **Ciclo de Vapor.** Está basado en la combustión de biomasa, a partir de la cual se genera vapor que es posteriormente expandido en una turbina de vapor.
- ✓ **Turbina de Gas.** Utiliza gas de síntesis procedente de la gasificación de un recurso sólido. Si los gases de escape de la turbina se aprovechan en un ciclo de vapor se habla de un *ciclo combinado*.
- ✓ **Motor Alternativo.** Utiliza gas de síntesis procedente de la gasificación de un recurso sólido o biogás procedente de una digestión anaerobia.
- ✓ **Cogeneración.** Cuando una entidad presenta consumos térmicos y eléctricos importantes se puede plantear la instalación de un sistema de cogeneración,

consistente en la producción conjunta de energía térmica y eléctrica. Esta tecnología presenta como gran ventaja la consecución de rendimientos superiores a los sistemas de producción de energía térmica o eléctrica por separado.

El principio de funcionamiento de la cogeneración se basa en el aprovechamiento de los calores residuales de los sistemas de producción de electricidad comentados en el epígrafe anterior.

Aunque cada caso debe ser estudiado en detalle, en general, la cogeneración es adecuada para empresas con consumos de energía eléctrica importantes, con un factor de utilización elevado (más de 5.000 h/año) y donde sea posible aprovechar energía térmica a temperatura media (alrededor de 400 - 500 °C).

Un sistema de cogeneración basado en la utilización de biomasa permite disminuir el costo de la factura, tanto la eléctrica (existiendo la posibilidad añadida de venta del excedente de electricidad) como la de combustibles fósiles.

Tanto los sistemas de generación de energía eléctrica como los de cogeneración requieren inversiones importantes, por lo que es preciso realizar un estudio muy cuidadoso y detallado antes decidir implantarlos.

**1.4.3 Generación de Energía Mecánica.** Los Biocombustibles pueden ser empleados en los motores alternativos de automóviles, camiones, autobuses, etc., sustituyendo total o parcialmente a los combustibles fósiles. La utilización de biocombustibles es especialmente interesante en industrias agrarias que dispongan de una adecuada materia prima para su producción (aceites reciclados, colza, girasol, maíz, trigo, patata, etc.) y que puedan auto consumirlos (por ejemplo en tractores), llegando a suponer importantes ahorros en la factura de los combustibles.

## 1.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE LA BIOMASA

La generación de energía eléctrica utilizando biomasa, por cualquiera de los sistemas vistos anteriormente, tiene algunos factores a favor y otros en contra. A continuación se describen brevemente, algunas ventajas y puntos débiles de la generación de energía eléctrica utilizando biomasa.

**Tabla 3. Ventajas y Desventajas de la Generación Eléctrica a Partir de Biomasa**

ASPECTOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>AMBIENTALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Puede integrarse con procesos de recuperación ambiental, principalmente cuando corresponden a la utilización de subproductos de procesos productivos.</li> <li>✓ Sustituye o disminuye las emisiones de CO<sub>2</sub>.</li> <li>✓ Posibilita el uso productivo de tierras marginales, pendientes o semiáridas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Puede promover la monocultura extensiva y reducir la biodiversidad.</li> <li>✓ Puede emitir partículas en la combustión.</li> <li>✓ Puede incrementar la erosión y la degradación de los suelos.</li> </ul>
<b>INSTITUCIONALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Los cambios institucionales en el sector energético en muchos países estimulan la producción privada de energía e indirectamente, el uso de la biomasa energética.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ No existe un marco institucional eficiente para estimular la producción y utilización racional de la bioenergía.</li> <li>✓ Los sistemas de información muchas veces no permiten realizar acciones y definir estrategias bioenergéticas</li> </ul>

ASPECTOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>SOCIOECONOMICOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Favorece la generación de empleo en las áreas rurales.</li> <li>✓ Contribuye a las inversiones internas y a reducir las desigualdades.</li> <li>✓ Presenta normalmente un menor componente en divisas en comparación con otros sistemas de suministro energético.</li> <li>✓ En muchas situaciones presenta competitividad frente a combustibles fósiles, particularmente en el contexto agroindustrial.</li> <li>✓ En algunos países existen nuevas modalidades de financiamiento para el suministro energético en localidades aisladas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La relación oferta-consumo a menudo es definida por el mismo agente. Sin una valoración explícita del recurso</li> <li>✓ Los sistemas bioenergéticos presentan en general costos de capital comparativamente más elevados que los sistemas convencionales basados en energía fósil.</li> <li>✓ El costo de transporte tiene una fuerte incidencia y típicamente las distancias factibles en términos económicos entre los sitios de producción y utilización son inferiores a pocas centenas de kilómetros.</li> </ul>
<b>TECNOLÓGICOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Disponibilidad de varios sistemas de tecnología probada para su uso racional y diversificado en sus diversas formas.</li> <li>✓ Gran parte de los equipos necesarios pueden ser fabricados localmente.</li> <li>✓ Amplia gama de capacidades, tecnologías condiciones para su uso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Los sistemas requieren comparativamente más mantenimiento y atención en la operación.</li> <li>✓ La eventual heterogeneidad en tamaño, alta humedad o baja densidad del combustible puede imponer sistemas de preparación previa.</li> <li>✓ Existen pocos sistemas en el rango de decenas de kW, suficientemente confiables y de operación sencilla.</li> </ul>

ASPECTOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>CAPACITACIÓN Y DIFUSIÓN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Existe en la actualidad un número razonable de personas capacitadas e instituciones con conocimientos, pero aun poco articuladas para actuar en temas bionergéticos.</li> <li>✓ Los nuevos sistemas de comunicación permiten incrementar el intercambio de información entre las instituciones y otros actores del escenario.</li> <li>✓ El conocimiento y la tecnología bioenergética puede considerarse de libre disponibilidad, sobre todo cuando se comparan con otras cadenas energéticas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Los sistemas de información disponibles muchas veces no permiten fundamentar acciones y definir estrategias.</li> <li>✓ Algunas veces existen prejuicios para la utilización de la biomasa por falta de conocimiento de las oportunidades de sostenibilidad de esta fuente energética.</li> </ul>

Fuente: La Biomasa Como Fuente de Energía Renovable. Fernando Sebastián, Javier Royo. CIRCE. Universidad de Zaragoza. 2002.

## 1.6 EXPERIENCIA EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZANDO BIOMASA

**1.6.1 Central Eléctrica.** Siemens está construyendo la central de biomasa forestal más grande de Europa para la empresa austriaca de servicio público Wien Energie. La central tendrá una producción eléctrica de 24,5 megavatios, suficiente para atender las necesidades de unos 50.000 hogares vieneses. Además, generará hasta 37 megavatios de calor para su uso en calefacción por distrito, para aproximadamente 12.000 familias. Todo ello se traduce en un porcentaje de eficiencia combinada superior al 80%, una cifra muy elevada para una central de este tipo. La instalación evitará la emisión a la atmósfera de unas 144.000 toneladas anuales de CO<sub>2</sub>.

La planta utilizará como combustible residuos de origen forestal –en torno a 200.000 toneladas anuales– para calentar el agua en una caldera y el vapor resultante moverá el generador eléctrico. Hasta aquí no hay mayor novedad. Lo especial de la central eléctrica de Viena es el hecho de que el vapor no se enfriará inmediatamente después de pasar por la turbina, sino que será sometido a un proceso de doble presión en el que se canalizará de nuevo hacia la caldera para recalentarlo. Con ello se logra un mejor aprovechamiento del calor del combustible y, en consecuencia, una mayor eficiencia total.

Se prevé que la central entre en funcionamiento en el verano de 2006.<sup>3</sup>

**1.6.2 Unidad de Generación Eléctrica con Cascarilla de Café.** Un líder en proyectos de electrificación y telecomunicaciones de sitios remotos llamado ORMAT, ha fabricado una unidad de generación de energía eléctrica a partir de biomasa llamada E4V, que combina un convertidor de energía fabricado por ORMAT, un turbogenerador hermético con una caldera simple para quemar la biomasa.

La unidad E4V utiliza varios tipos de biomasa para su funcionamiento, en su mayoría desechos agrícolas como cascarilla de café y arroz. Esta unidad prácticamente no necesita mantenimiento, únicamente una remoción de las cenizas generadas por la combustión de la biomasa.

El E4V será fabricado inicialmente en dos modelos, uno de 4 kW y otro de 6 kW, con la idea de suplir de energía eléctrica a pequeñas comunidades que no se encuentran conectadas a la red eléctrica y de esta manera brindarles desarrollo socio económico.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> Tomado de [www.energias-renovables.com](http://www.energias-renovables.com)

<sup>4</sup> Tomado de [www.ormat.com](http://www.ormat.com)

## **2. GENERALIDADES DEL SECTOR Y POSIBLES FORMAS DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO**

En este capítulo se estudian temas directamente relacionados con la cascarilla de café, desde el entorno del sector cafetero, hasta el proceso en el cual se genera como subproducto. Seguidamente se explican de manera general los tipos de sistemas existentes para aprovechar energéticamente la cascarilla de café y finalmente se describen los aspectos termodinámicos dentro de las cuales se encuentran enmarcados dichos sistemas de aprovechamiento.

### **2.1 GENERALIDADES DEL SECTOR CAFETERO**

La cascarilla de café, es sólo uno de los diferentes subproductos, (muchas veces vistos como residuos), que resultan después de realizar al café una serie de procesos para obtener un producto final, para consumo humano.

A continuación se describen brevemente los pasos de la cadena productiva del café, dentro de la cual se encuentra inmerso el proceso de trillado, el cual es el que genera el subproducto que se propone estudiar en este trabajo como un posible combustible.

**2.1.1 Contexto Internacional.** Según la información estadística obtenida de la base de datos de la Federación Nacional de Cafeteros y del DANE, se puede concluir que el café ha sido y sigue siendo un generador de empleo y de divisas muy importante en el país, a pesar de que en algunos momentos de la última década, debido a la caída de precios, las cifras de producción y exportación sufrieron una sensible baja, el panorama es alentador, tras el crecimiento que ha tenido la demanda en el exterior de este producto en los últimos 2 años.

Pese a que algunos países como Vietnam e Indonesia, han llegado a sobrepasar las cantidades exportadas por Colombia en años anteriores, el grano colombiano, ha comenzado a escalar posiciones nuevamente dentro del mercado internacional, y el futuro es promisorio y tendiente a estabilizarse a favor nuestro.

“Aunque los importadores de café colombiano siguen siendo principalmente los países de la Unión Europea, adquiriendo más de la mitad del café verde exportado por el país, individualmente, Estados Unidos se convirtió en el principal destino de nuestras ventas, ganando importancia gradual a lo largo de los últimos diez años.

Los cafés procesados han venido ganando espacio en el mercado los últimos años; estos tipos de café, tienen un valor agregado mucho más alto y, aunque no compiten con el café verde en forma directa, sí lo hacen en el consumo. Esta producción se ha venido concentrando en países desarrollados no productores del grano, como Estados Unidos, Alemania, Italia y Bélgica-Luxemburgo. Anteriormente, la competencia de Colombia era con los productores tradicionales del grano verde, pero en la actualidad, la re-exportación del producto con mayor valor agregado por parte de los países industrializados, pone en evidencia la desventaja de Colombia en este sentido. A pesar de la larga tradición del país como productor de uno de los tipos de café suaves más apetecidos en el mundo, no ha logrado constituirse en un país exportador de cafés con un mayor nivel de elaboración, lo cual se constituye en una de las principales limitantes competitivas de la cadena. Actualmente, las exportaciones colombianas de café procesado representan el 1% del valor de lo exportado por la cadena.

El crecimiento de la producción mundial de café se ha basado en el estímulo del mercado internacional. Alrededor de un 64% de la producción de los países tiene como destino la exportación, y por eso, este sector depende en gran medida del comportamiento internacional, y, debido a la existencia de muchos productores y grandes demandantes, el mercado cafetero ha estado fuertemente regulado por la

Organización Internacional del Café (OIC) a través de los Convenios Internacionales del Café (CIC) que de una u otra manera permitían que la oferta se equilibrara con la demanda, eliminando la posibilidad de que se generaran grandes excesos que deprimieran el mercado internacional”.<sup>5</sup>

Se puede observar que nos encontramos frente a un mercado en que existen todavía muchas posibilidades de crecimiento para la producción nacional, y que por medio de la implementación de métodos y acciones efectivas, podría recuperar el lugar que en algunos momentos mantuvo en el mercado internacional.

La Figura 2 muestra a Colombia en el segundo lugar en producción de café verde a lo largo de los últimos 9 años, con un promedio del 39% de la producción de Brasil, el primer productor a nivel mundial.

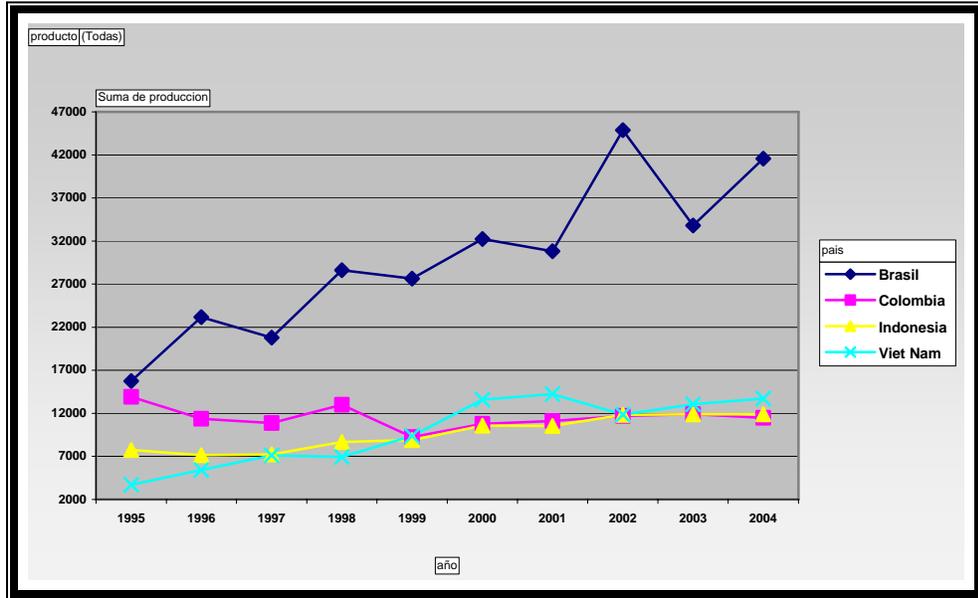
**2.1.2 Contexto Nacional.** La producción de café verde en Colombia para los últimos 4 años se muestra en la Figura 3. Los datos se encuentran en miles de sacos de 60 Kg. y la producción promedio anual en Colombia ha sido 12.228.000 sacos de 60 Kg. La cantidad de producción de café verde, es directamente proporcional a la de cascarilla de café. Por cada kilogramo de café pergamino trillado, para producir café verde, aproximadamente 180 gr. equivalen a cascarilla.

Se requiere trillar aproximadamente 80 Kg. de café pergamino, para producir un saco de 60 Kg. de café verde. Lo anterior significa que de continuar la tendencia que se presentó en años anteriores, la producción anual de cascarilla se mantendría en alrededor de 2.200.000 sacos de 60 Kg. que al tener en cuenta que el poder calorífico es de 5000 BTU/Lb, estaríamos hablando de un potencial energético, equivalente a aproximadamente 500 Mw.

---

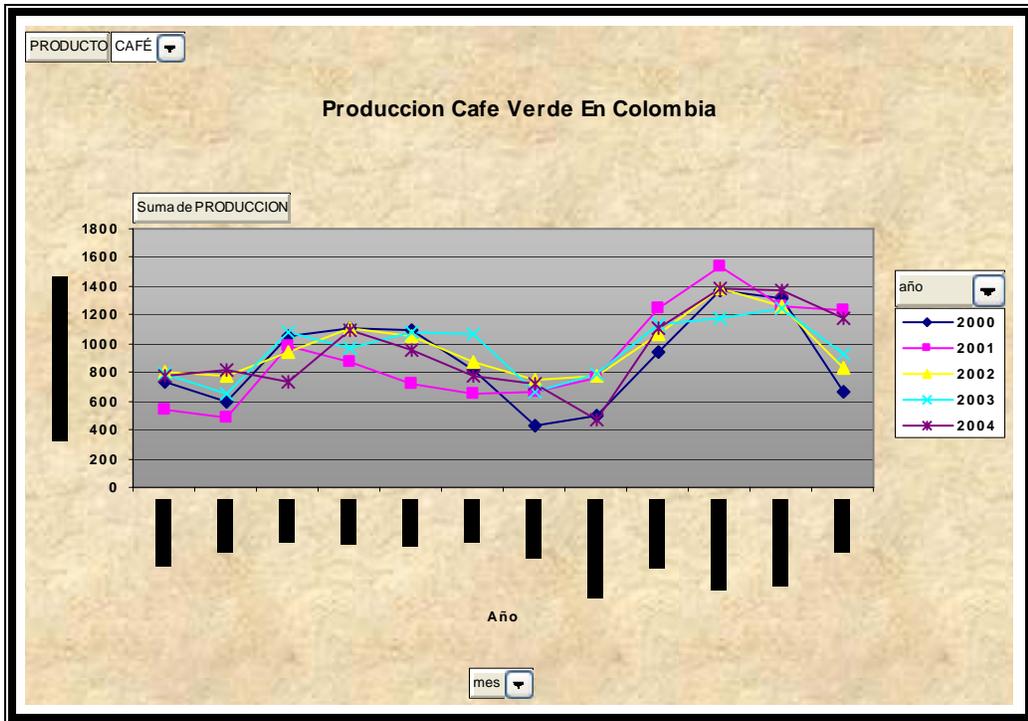
<sup>5</sup> Tomado de: La Cadena del Café en Colombia: Una Mirada Global de su Estructura y Dinámica 1991-2004.

**Figura 2. Producción Mundial de Café Verde**



Fuente: La Cadena del Café en Colombia: Una Mirada Global de su Estructura y Dinámica 1991-2004.

**Figura 3. Producción Nacional de Café Verde. Año 2000 – 2004**



Fuente: La Cadena del Café en Colombia: Una Mirada Global de su Estructura y Dinámica 1991-2004.

Como se puede observar en las gráficas estadísticas anteriores, el sector cafetero, es un sector que maneja grandes cantidades de volúmenes de producción y exportación en nuestro país. A pesar de esto, este sector agrícola sigue siendo poco desarrollado, realizando la mayoría de sus procesos de manera manual o de manera poco eficiente (en algunas etapas que requieren maquinaria, como el caso de la trilla).

Detrás de la gran producción de este grano, y de todos los procesos a los que es sometido, viene involucrada una cantidad considerable de subproductos o en muchos casos desechos, que contaminan el suelo, el agua y el aire. De los lugares cercanos al lugar en el que el café es procesado. Teniendo en cuenta esto y también que la energía eléctrica representa una gran cantidad de gastos en algunos de los procesos de producción, sería una ventaja para el sector, tanto ambiental como económicamente, el desarrollar un sistema que permitiese obtener energía eléctrica utilizando como fuente sus propios desechos; minimizando así problemas que están presentes hoy en día, como el almacenamiento o disposición final de grandes volúmenes de desechos y la contaminación del ambiente a partir de éstos.

## **2.2. EL CICLO PRODUCTIVO DEL CAFÉ**

Un grano de café debe ser sometido a una serie de procesos complejos para poder llegar a ser disfrutado por las personas; a continuación se describen generalmente cada uno de dichos procesos, dentro de los cuales se encuentra la trilla, proceso del cual resultan los residuos que se plantea sean utilizados como combustible.

**2.2.1 Beneficio.** Es el proceso que se le hace a al café para transformarlo en Café Pergamino; este proceso consta de varias etapas, las cuales son:

- **Desarrollo.** Se requieren 2 años desde que se siembra la planta, para lograr su producción plena.
- **Recolección.** Una vez están los granos maduros, se recogen manualmente cuidando de no coger los verdes o pintones, puesto que en el proceso de fermentación es necesario que todas las semillas estén en las mismas condiciones de maduración.
- **Despulpado.** Se depositan los granos de café en una tolva donde cae agua y comienza a girar para que se desprendan las cáscaras de los granos y se limpien las semillas.
- **Fermentación.** Para eliminar el mucílago<sup>6</sup> que recubre las semillas se debe permitir que se desdoblén los azúcares dejando los granos a la intemperie por máximo 18 horas. Como resultado se obtiene que dicho mucílago se diluya y se pueda quitar fácilmente.
- **Lavado.** Se toman los granos y se lavan cuidadosamente con agua limpia. El café que flota es el que está partido o es de menor calidad.
- **Secado.** Se colocan todas las semillas en patios para ser secados por el sol. **Eliminándose la humedad de los granos de 50% a 10%-12%.**

Cumplidas estas operaciones el café verde (pergamino) está listo para venderse.

**2.2.2 Trilla.** Este proceso es el centro de este trabajo; es el proceso en el cual el café pergamino, es recibido en plantas trilladoras, y básicamente consiste en la separación del grano y la cáscara seca que lo envuelve; dicha cáscara, es

---

<sup>6</sup> Sustancia gelatinosa que absorbe agua e incrementa su tamaño; se encuentra en diversas partes de las plantas como semillas, frutos, hojas, etcétera.

denominada “tamo”, “cisco” o “pasilla”, y es la materia que se busca utilizar como combustible en este trabajo.

**2.2.3 Selección.** Una vez el café verde está sin cáscara se procede a su selección y clasificación según:

- **Tamaño.** Se usan unos tamices con mallas numeradas y según el requerimiento del país comprador el café se selecciona y prepara para el envío final.
- **Peso.** Se utiliza una máquina catadora donde por efecto de la gravedad y de la acción de un flujo de aire en contra corriente, los granos menos pesados (con defectos, cortados, huecos, brocados) se separan y son el café pasilla; los granos que caen al fondo de la máquina son los que llenan las condiciones de peso para exportación.
- **Color.** Puede usarse un proceso electrónico que tiene especificada una longitud de onda del color y a partir de ella, la máquina escoge los granos cuyo color coincide con el del patrón de la máquina. En las fincas donde la trilla es manual las personas dividen los granos por color similar. Este café es la Pasilla de Mano.

**2.2.4 Tasa.** Este proceso consiste en tomar una muestra de café verde, tostado y molido para que los expertos caten el café. Los catadores evalúan la acidez, amargura, rancidez y aroma. Comparan los resultados con el patrón establecido para cada tipo de café, clasifican por lotes, y aprueban o rechazan el lote de donde se tomó la muestra.

**2.2.5 Torrefacción.** Este proceso consiste en tostar el café verde en máquinas con cilindros calientes perforados sobre los que el café rota uniformemente.

Durante el proceso de tueste, el café verde sufre cambios transcendentales que se inician cuando los granos son sometidos a una temperatura superior a los 100 °C., comienzan a perder humedad y su color pasa rápidamente del verde oscuro o verde azulado, al amarillo pálido y luego dorado.

**2.2.6 Molienda.** En este proceso se obtiene la fragancia del café. El rompimiento del grano produce una pérdida de hasta el 45% de cualidades, por tal razón es importante empacarlo rápido.

### **2.3 LOS SUBPRODUCTOS DEL SECTOR CAFETERO**

La utilización de la pulpa siempre ha constituido un problema tanto en el procesado en seco como en el húmedo, puesto que los granos secos constituyen sólo la tercera o cuarta parte del peso de los frutos frescos.

En los lugares donde las plantas de procesado se hallan cerca de la plantación, se ha hecho uso de los desechos como fertilizantes orgánicos. En algunas regiones se ha encontrado un mercado limitado como un suplemento alimenticio para el ganado. Sin embargo, en ningún caso se ha utilizado más que una pequeña fracción de los millones de toneladas producidas cada año, quedando la mayor proporción de este desperdicio acumulado en pilas para descomposición, o para ser arrojado a las corrientes cercanas. La elevación de los costos de producción en la industria cafetalera y la creciente agitación contra la continua contaminación de los ríos, necesitará en el futuro del desarrollo de algún uso económico para estos desperdicios.

Una oportunidad viable para el uso de los hoy considerados “desechos” de los procesos que conlleva preparar un grano de café colombiano para su exportación, es precisamente la idea propuesta en este documento, la cual consiste en aprovechar energéticamente las propiedades de la cascarilla del café, llamado

también “tamo” o “cisco”, que es el principal residuo del proceso de trillado, explicado anteriormente. Este residuo es utilizado hoy en día como complemento de combustibles como el carbón en hornos para la cocción de ladrillos. Sin embargo, la demanda de estas industrias, que utilizan la cascarilla como combustible no es muy alta, y el precio al que compran estos residuos a las plantas trilladoras es muy bajo (alrededor de \$ 30.000 por cada 8 toneladas), en el caso de Bucaramanga.

Teniendo en cuenta lo anterior, y además conociendo que el proceso de trilla de café requiere de altos consumos energéticos 100 % eléctricos, surge la idea de implementar un sistema de generación de energía eléctrica propio, que cubra la demanda total o parcial del consumo eléctrico de la planta trilladora de café; utilizando como combustible del generador, los residuos que el mismo proceso de trilla genera. La implementación de un sistema de este tipo, reduciría la contaminación de aguas en ríos, debido a que en muchos casos las aguas son el lugar de disposición final, cuando el residuo no es aprovechado de ninguna manera, y a su vez representaría un ahorro alto dentro de los costos del proceso de trilla de café, ya que el valor del consumo de energía eléctrica, (según información suministrada por varias empresas dedicadas a dicha actividad), es equivalente a alrededor del 30% de los costos totales del proceso.

Con base en lo anterior concluimos que por medio de este trabajo, se esta dando un uso funcional a un residuo que en este momento, es contaminante, no es aprovechado por la industria del café y tampoco genera ingresos significativos para la misma.

## **2.4 ESTADO DEL ARTE: SISTEMAS UTILIZADOS PARA LAS DIFERENTES FORMAS DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA CASCARILLA DE CAFÉ**

Aunque existen otras formas de aprovechamiento energético y otros sistemas diferentes a los que se muestran a continuación, como la digestión anaerobia y la producción de biocombustibles, en este punto sólo se enseñan los sistemas que se utilizan para aprovechar energéticamente la biomasa sólida de tipo seco, tipo de biomasa a la cual pertenece la cascarilla de café.

**2.4.1 Sistemas Basados en la Combustión del Recurso.** Con los equipos que existen en la actualidad en el mercado, se pueden conseguir rendimientos de combustión muy elevados, que pueden alcanzar hasta el 95%, si se acoplan equipos de recuperación de calor. Los avances tecnológicos conseguidos, tanto en los sistemas de alimentación de la biomasa como en los equipos de combustión, hacen que en estos momentos, si se dispone de biomasa y es necesario cubrir una demanda térmica en la empresa, los equipos de combustión de biomasa sean tan eficientes, cómodos y competitivos como los basados en combustibles fósiles.

En general, una planta de combustión de biomasa consta de los siguientes sistemas:

- ✓ Almacenamiento de combustible.
- ✓ Transporte y dosificación del combustible al equipo de combustión.
- ✓ Equipos y cámara de combustión.
- ✓ Caldera (vapor, agua caliente, aceite térmico).
- ✓ Recuperadores auxiliares de calor.
- ✓ Depuración de gases.
- ✓ Extracción de cenizas.

Existen diferentes tecnologías para llevar a cabo la combustión de la biomasa: caldera de parrilla, cámara torsional, hornos en lecho fluidizado, etc.

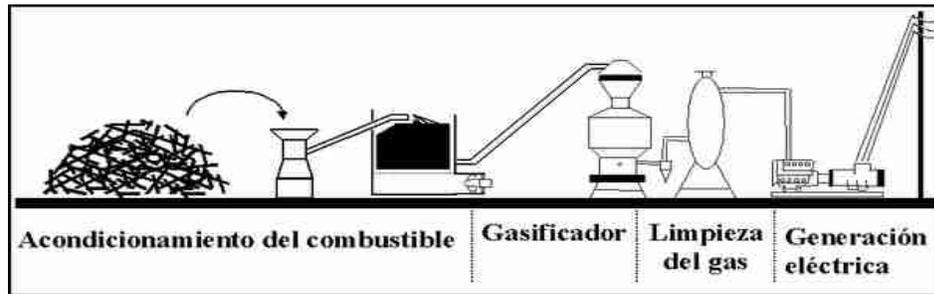
En función de las características del recurso y de la demanda (energía a baja o a alta temperatura y cantidad de la misma a suministrar) es más idóneo uno que otro, pero en todos los casos, los avances tecnológicos antes mencionados, proporcionan tanta seguridad y confort como los sistemas basados en combustibles fósiles.

En el caso específico de la Trilladora Bucaramanga, esta opción puede resultar interesante, teniendo en cuenta que la producción de vapor para su posterior utilización en la generación de energía, responde a una tecnología probada, establecida comercialmente y por lo tanto de fácil acceso.

**2.4.2 Sistemas Basados en la Gasificación del Recurso.** Cuando se desea generar energía térmica y/o eléctrica con biomasa, ésta se puede introducir en equipos en los que por la acción del calor y la carencia de oxígeno producen, al descomponer térmicamente el recurso, un gas combustible que puede emplearse de forma similar a como se utilizan el gas natural u otros combustibles gaseosos tradicionales. Estos equipos presentan la ventaja de que poseen, cuando se trabaja con potencias reducidas o con potencias muy elevadas, mayor rendimiento que los sistemas de combustión, por lo que en esos casos pueden ser mucho más adecuados. Básicamente, una planta de gasificación consta de los mismos sistemas que una planta de combustión salvo que la caldera se sustituye por el gasificador y el sistema de limpieza del gas.

Como ocurre con la combustión, existen diferentes tecnologías de gasificación de un recurso, gasificador de corrientes paralelas, gasificador en contracorriente, gasificador de lecho fluido, etc. En función de las características del combustible y del destino del gas generado es más conveniente un tipo de aplicación u otro.

**Figura 4. Esquema General de una Instalación Para Gasificación**



Fuente: La Biomasa Como Fuente de Energía Renovable. Fernando Sebastián, Javier Royo. CIRCE. Universidad de Zaragoza. 2002.

Cabe señalar, que aunque este tipo de sistema de aprovechamiento, (gasificación), es más eficiente que la combustión directa, no es fácil encontrar equipos en el mercado, y como se mencionó anteriormente, sus aplicaciones, están centradas hoy en día en demandas de energía eléctrica muy bajas o demasiado grandes, comparadas con el requerimiento energético de la Trilladora Bucaramanga, además de que la tecnología es costosa, (alrededor de US\$ 1.000.000), debido a las altas temperaturas y presiones que se manejan en el proceso, (>25 bar, 1500 °C) y al sistema de limpieza de gases.

## **2.5 ASPECTOS TERMODINÁMICOS QUE ENMARCAN LOS SISTEMAS DE VAPOR Y GAS**

Como hemos visto anteriormente, existen básicamente dos posibilidades de generar energía eléctrica por medio de la biomasa seca. Dentro de cada uno de estas posibilidades, se encuentran envueltas una serie de condiciones y aspectos termodinámicos, que vale la pena mencionar, ya que partiendo de la aplicación de ellos, se definirán las condiciones a las cuales deben operar los equipos de la planta de generación planteada.

**2.5.1 Principios Termodinámicos.** Existen dos importantes áreas de aplicación dentro de la Termodinámica: la generación de potencia y la refrigeración.

Cualquiera de las dos se realiza por medio de sistemas que operan en ciclos termodinámicos.

Los ciclos termodinámicos se dividen básicamente en dos categorías:

- ✓ Ciclos de potencia.
- ✓ Ciclos de refrigeración.

Los equipos utilizados para producir una salida de potencia, reciben el nombre de máquinas, y los *ciclos termodinámicos* que operan se denominan ciclos de potencia.

Los equipos que se utilizan para producir refrigeración se denominan refrigeradores, acondicionadores de aire o bombas de calor, y los ciclos que operan reciben el nombre de *ciclos de refrigeración*.

**2.5.2 Tipos de Ciclos Termodinámicos.** Los ciclos termodinámicos, se dividen a su vez; dependiendo en la fase en que se encuentre el fluido de trabajo, (la sustancia que circula por el ciclo) en:

- **Ciclos a Gas.** En este ciclo en fluido de trabajo, permanece durante todo el ciclo en fase gaseosa.
- **Ciclos a Vapor.** En este ciclo el fluido de trabajo, se encuentra en fase vapor y líquida en diferentes momentos del ciclo.

Existe otro tipo de categorizar los ciclos termodinámicos, según la forma de circulación del fluido de trabajo, sin tener en cuenta si es ciclo a gas o a vapor.

- **Ciclos Cerrados.** En este tipo de ciclos, el fluido de trabajo, regresa a su estado inicial al final del ciclo y recircula por todo el ciclo nuevamente.
- **Ciclos Abiertos.** En este ciclo, el fluido de trabajo se renueva al final de cada ciclo, es decir solo pasa una vez por el ciclo en lugar de recircularse.

Los ciclos termodinámicos reales se llevan a cabo en dispositivos complejos, que son difíciles de analizar, debido a la presencia de agentes externos como la fricción y ausencia de tiempo para establecer condiciones de equilibrio en el ciclo.

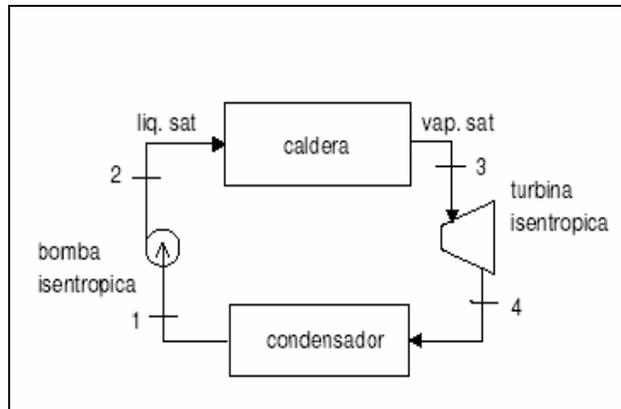
Para facilitar el análisis de un ciclo termodinámico, es necesario conservar las complejidades, pero en un nivel manejable, y utilizar algunas idealizaciones. Al eliminar todas las irreversibilidades y complejidades de un ciclo real, el mismo, sigue siendo muy semejante al ciclo real inicial, pero a diferencia de éste, está conformado por completo por procesos reversibles. Un ciclo de tales características, recibe el nombre de *ciclo ideal*. Las conclusiones de analizar un ciclo ideal, frecuentemente son aplicables a los ciclos reales.

**2.5.3 Descripción de Posibles Ciclos a Usar Para la Generación de Energía Eléctrica a Partir de la Cascarella de Café.** El primer ciclo a considerar es el ciclo de vapor simple y cerrado, a continuación se describe el ciclo de Carnot, por ser el primer ciclo, el cual es ideal y es base para los demás, seguidamente se detalla el ciclo Rankine, que es el ciclo que se basa en el ciclo de vapor que más se asemeja a una planta de generación térmica, y finalmente, se explicará el ciclo Brayton, el ciclo que se aplica al ciclo de gas.

- **Ciclo de Carnot.** El ciclo de Carnot es el más eficiente de los que operan entre dos niveles de temperatura especificados. Este ciclo es considerado como un presunto ciclo ideal para las centrales de potencia de vapor. Pero, el ciclo de Carnot, no es un modelo apropiado para los ciclos de potencia de vapor.

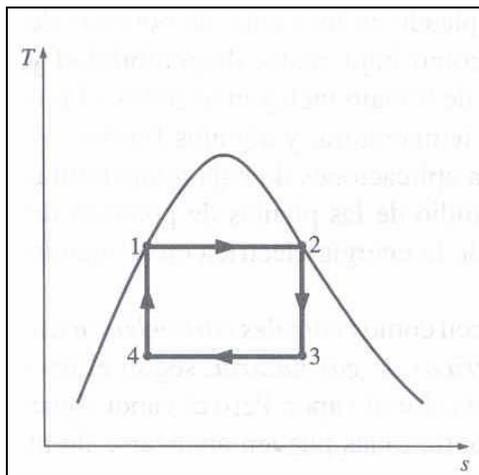
Este es un proceso cíclico reversible que utiliza un gas ideal, y que consta de dos transformaciones isotérmicas<sup>7</sup> y dos adiabáticas<sup>8</sup>. La representación gráfica del ciclo de Carnot en un diagrama (T-s) se representa en la figura 6 y el esquema del ciclo en la figura 5.

**Figura 5. Esquema del Ciclo de Carnot**



Fuente: Termodinámica. Yanus Cengel. Michael A. Boles. Tomo II. 1999.

**Figura 6. Diagrama T-s del Ciclo de Carnot**



Fuente: Termodinámica. Yanus Cengel. Michael A. Boles. Tomo II. 1999.

<sup>7</sup> Es un proceso termodinámico realizado de manera que la temperatura sea constante durante toda la operación.

<sup>8</sup> Es un proceso termodinámico en el que el sistema (generalmente un fluido que realiza un trabajo) no intercambia calor con su entorno.

En la figura anterior tenemos que:

Proceso 1 - 2 isotérmico a temperatura  $T_1$

Proceso 2 - 3 adiabático

Proceso 3 - 4 isotérmico a temperatura  $T_2$

Proceso 4 - 1 adiabático

A pesar de su mayor rendimiento térmico, el ciclo de Carnot tiene, en principio, dos limitaciones respecto al ciclo Rankine normal, que lo hacen poco aplicable a la realidad:

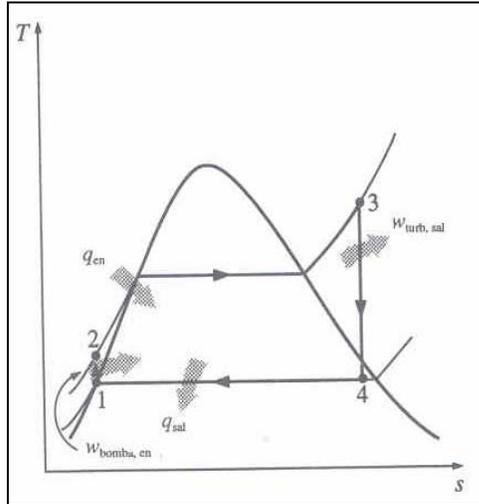
La primera es que en el ciclo Rankine, el calor que se aplica al fluido de trabajo se obtiene de los gases calientes de una combustión a una temperatura inferior a la crítica, mientras que en el ciclo de Carnot los gases de la combustión no podrían enfriarse a temperaturas menores que la crítica, (irreversibilidad térmica externa), produciéndose así un menor aprovechamiento de la energía de combustión.

La segunda es que en la región, líquido-vapor, la máquina térmica que funcionase con dicho ciclo tendría que detener la condensación del vapor en un punto J, antes de que se consiga su licuación completa y, posteriormente, con ayuda de una bomba llevar adiabáticamente la mezcla de vapor húmedo hasta su licuación total, en el punto A, alcanzando la presión y temperatura de la caldera, y éste proceso de bombear mezclas de dos fases tiene problemas técnicamente imposibles de resolver.

- **Ciclo Rankine.** Este ciclo es llamado el ciclo ideal para los ciclos de vapor. El ciclo Rankine difiere del de Carnot, en la transformación (4-1), ya que la condensación del vapor es total; las demás transformaciones son idénticas en ambos ciclos. En la Figura 7 se muestra el diagrama (T-s); como es lógico, el

rendimiento del ciclo Rankine es menor que el del ciclo de Carnot debido a la operación de calentamiento entre los puntos 2-3.

**Figura 7. Diagrama T-s del Ciclo Rankine**



Fuente: Termodinámica. Yanus Cengel. Michael A. Boles. Tomo II. 1999.

El ciclo de Rankine no incluye ninguna irreversibilidad interna y está compuesto por los siguientes cuatro procesos:

- 1 - 2 Compresión isentrópica<sup>9</sup> en una bomba.
- 2 - 3 Adición de calor a  $P = constante$ , en una caldera.
- 3 - 4 Expansión isentrópica en una turbina.
- 4 - 1 Rechazo de calor a  $P = constante$ , en un condensador.

La ecuación de energía de flujo permanente en este ciclo es igual a:

$$q - w = h_e - h_i \quad (\text{kJ/kg}) \quad \text{Ecuación (1)}$$

<sup>9</sup> Proceso que se realiza a entropía constante.

La caldera y el condensador no incluyen ningún trabajo y se supone que la bomba y la turbina serán isentrópicas; la relación de conservación de energía para cada dispositivo se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Bomba: } (q = 0): \quad w_{bomba} = h_2 - h_1 \quad \text{Ecuación (2)}$$

$$\text{Caldera: } (w = 0): \quad q_{entrada} = h_3 - h_2 \quad \text{Ecuación (3)}$$

$$\text{Turbina: } (q = 0): \quad w_{turb, sal} = h_3 - h_4 \quad \text{Ecuación (4)}$$

$$\text{Condensador: } (w = 0): \quad q_{salida} = h_4 - h_3 \quad \text{Ecuación (5)}$$

La eficiencia térmica del ciclo Rankine se determina a partir de:

$$\eta_t = \frac{w_{neta}}{Q_{entrada}} = 1 - \frac{q_{salida}}{q_{entrada}} \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde:

$$w_{neta} = q_{entrada} - q_{salida} = w_{turb, sal} - w_{bomba, en} \quad \text{Ecuación (7)}$$

- **Ciclo Brayton.** Este ciclo es el ideal para los motores de turbina de gas. Es utilizado en turbinas de gas donde los procesos tanto de compresión como de expansión suceden en maquinaria rotatoria. Las turbinas de gas generalmente operan en un ciclo abierto; se introduce al compresor aire fresco en condiciones ambiente, en donde su temperatura y presión se elevan. El aire a presión constante, sigue hacia la cámara de combustión, donde el gas

combustible es quemado a presión constante. Los gases de alta temperatura que resultan entran a la turbina, donde se expanden hasta la presión atmosférica, de tal forma que producen potencia. Los gases de escape que salen de la turbina se expulsan hacia el exterior y de esta manera finaliza el ciclo.

El ciclo anterior, puede modelarse en un ciclo cerrado, haciendo algunas suposiciones de aire estándar. En este caso, los procesos de compresión y expansión permanecen iguales, pero el proceso de combustión se sustituye por el proceso de adición de calor a presión constante de una fuente externa y el proceso de escape, se reemplaza por uno de rechazo de calor a presión constante hacia el ambiente; este ciclo está integrado por cuatro procesos internamente irreversibles:

1 - 2 Compresión isentrópica (en un compresor).

2 - 3 Adición de calor a  $P = \text{constante}$ .

3 - 4 Expansión isentrópica (en una turbina).

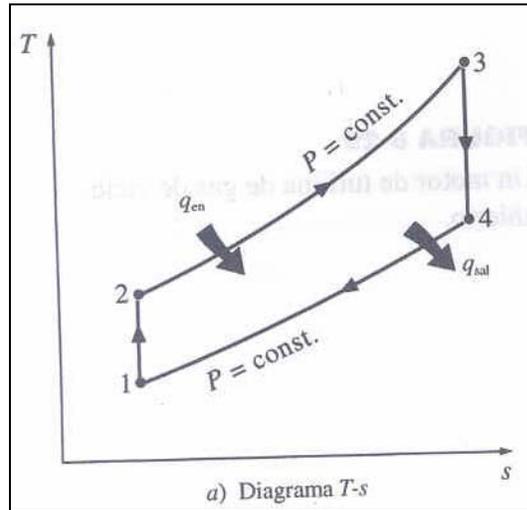
4 - 1 Rechazo de calor a  $P = \text{constante}$ .

Los diagramas T - s y P - v del ciclo Brayton ideal se muestran en las Figuras 8 y 9.

La ecuación de energía de flujo permanente en este ciclo es igual a:

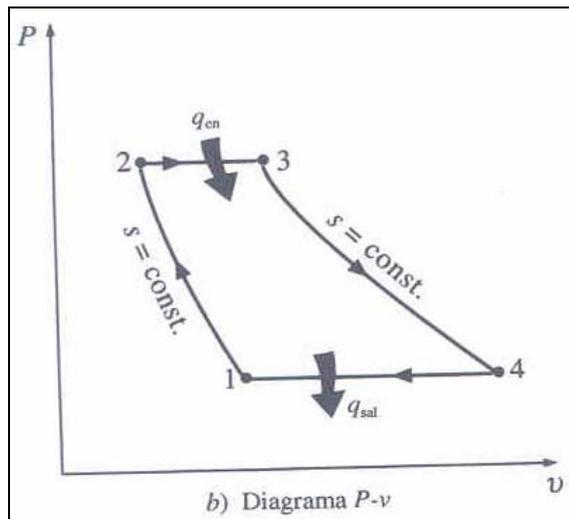
$$q - w = h_{\text{salida}} - h_{\text{entrada}} \quad (\text{kJ/kg}) \quad \text{Ecuación (8)}$$

**Figura 8. Diagrama T-s del Ciclo Brayton**



Fuente: Termodinámica. Yanus Cengel. Michael A. Boles. Tomo II. 1999.

**Figura 9. Diagrama P-v del Ciclo Brayton**



Fuente: Termodinámica. Yanus Cengel. Michael A. Boles. Tomo II. 1999.

Suponiendo calores específicos<sup>10</sup> constantes a temperatura ambiente, la transferencia de calor hacia y del fluido es:

<sup>10</sup> Cantidad de calor requerida para aumentar un grado la temperatura de una unidad de masa de una sustancia a presión o volumen constante.

$$q_{ent} = q_{2-3} = h_3 - h_2 = C_p(T_3 - T_2) \quad \text{Ecuación (9)}$$

$$q_{sal} = q_{4-1} = h_4 - h_1 = C_p(T_4 - T_1) \quad \text{Ecuación (10)}$$

La eficiencia térmica del ciclo Brayton es:

$$\eta_t = \frac{w_{neto}}{q_{ent}} = 1 - \frac{q_{sal}}{q_{ent}} = 1 - \frac{C_p(T_4 - T_1)}{C_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1 \left( \frac{T_4}{T_1} - 1 \right)}{T_2 \left( \frac{T_3}{T_2} - 1 \right)} \quad \text{Ecuación (11)}$$

Los procesos 1 – 2 y 3 – 4 son isentrópicos y  $P_2 = P_3$  y  $P_4 = P_1$  Por tanto:

$$\frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{(k-1)}{k}} = \left( \frac{P_3}{P_4} \right)^{\frac{(k-1)}{k}} = \frac{T_3}{T_4} \quad ; \quad k=1.4 \quad \text{Ecuación (12)}$$

Simplificando, la ecuación de eficiencia térmica es:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r_p^{\frac{(k-1)}{k}}} \quad \text{Ecuación (13)}$$

Donde:  $r_p = \frac{P_2}{P_1} \quad \text{Ecuación (14)}$

### **3. UTILIZACIÓN DE LA BIOMASA EN LA TRILLADORA BUCARAMANGA. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS**

En este capítulo, se describe la empresa en la cual se realizó el estudio, se analizan sus necesidades y potencial energético, además de su proceso de producción y finalmente se selecciona un sistema de generación, teniendo en cuenta los aspectos teóricos vistos en el capítulo anterior y comparando dichos aspectos con las necesidades de la empresa.

#### **3.1 DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO “TRILLADORA BUCARAMANGA”**

La Trilladora de Café Bucaramanga, perteneciente al grupo SKN CARIBECAFÉ LTDA. se estableció en Bucaramanga en el año de 1.992 en el sector industrial del centro de la ciudad. En un principio, la trilladora contaba con personal y equipo con capacidad para producir 200 sacos (70 Kg/saco) de café excelso por día; para esa época el proceso de selección por color lo realizaban 60 mujeres en tres mesas de escogencia manual. En la etapa de selección por peso se contaba únicamente con dos estiles.

En el año 2.000 se adquirieron 5 máquinas electrónicas las cuales seleccionan el grano según su color, y se aumentaron los estiles a 5, con el ánimo de incrementar la producción y la calidad del café excelso para exportación. Desde entonces hasta hoy la producción de la trilladora se ha mantenido en 500 sacos de café excelso por día.

La empresa trilladora de café pergamino, es una empresa dedicada a la exportación de café excelso, cuya misión es satisfacer las necesidades del cliente externo en cuanto a calidad y cantidad de café excelso; comprando, procesando, y exportando productos de excelentes características, utilizando en sus procesos,

personal capacitado para dar resultados que generen satisfacción, beneficio, compromiso y trabajo.

La visión de la empresa es ser una compañía con la capacidad de permanecer activa en el mercado, manteniendo un crecimiento sostenido, a través del cual logre obtener competitividad en calidad y precios, para ser identificados por sus clientes como símbolo de excelencia en la región y el país.

### **3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRILLADO DE CAFÉ EN LA TRILLADORA BUCARAMANGA**

El proceso comienza con la recepción de materias primas en las instalaciones de la trilladora; dicha materia prima es café pergamino y llega en sacos de 40 Kg.

Después de ser inspeccionados, los granos de café llegan a una tolva de recibo, la cual cuenta con un elevador de 11 mt. de altura, con una banda interna de 6 mt. de ancho por 2 cm. de espesor, sobre la cual van incrustadas unas cubetas o canjilones, cada una con distancia de 13 pulg. de separación entre sí. Estos canjilones recogen el pergamino y lo llevan desde la tolva receptora, hasta otra tolva de almacenamiento con capacidad de 500 sacos, 20.000 Kg. aproximadamente. De allí, los granos son recogidos por un elevador de iguales características que el anterior, el cual transporta el pergamino por medio de un tornillo sin fin, que utiliza un motor de 1.5 H.P. a 800 rpm , hasta una máquina despedregadora.

La máquina despedregadora, que trabaja por medio de vibración y aire, (2 ventiladores, 2 motores: uno de 5 HP y el otro de 2 HP), está encargada de limpiar el grano de partículas con tamaños grandes y partículas que “ensucien” el mismo.

Después de pasar por la máquina despedregadora, el café pergamino es tomado nuevamente por un elevador que lo lleva a una tolva con capacidad para 20 sacos, la cual alimenta la máquina trilladora.

La máquina trilladora del café es una máquina llamada APOLO 3, con capacidad para trillar 35 sacos en una hora; es el corazón del proceso y funciona con un motor de 50 HP a 800 rpm. Su función es retirar la cascarilla que tiene el café, y esto lo logra fundamentalmente por fricción de unas láminas internas, contra el grano; a la salida tiene un separador, que funciona con un absorbedor eléctrico, el cual toma la cascarilla retirada y la envía a un silo de almacenamiento de “tamo”. El proceso de trilla está constituido por dos etapas iguales, pero complementarias en la labor de quitar la cáscara al el grano de café, llamadas trilla y retrilla.

Después del proceso de trilla, el grano sin cascarilla pasa a través de un monitor de almendra, el cual selecciona el grano según tamaño por medio de tamices con mallas numeradas. Del seleccionador anterior, el grano se distribuye, según su tamaño, en 5 equipos llamados catadores, los cuales se encargan de realizar una selección por peso; en estos equipos se alimentan los granos de café por encima y una corriente regulada de aire en sentido contrario. Los granos menos pesados (con defectos, cortados, huecos, brocados) son arrastrados por el aire, en tanto que los granos de mejor calidad caen al fondo de la máquina. Las máquinas catadoras tienen tres salidas, por una de ellas, sale el grano de peores condiciones de peso, el cual es rechazado, por otra salida se recirculan a la máquina catadora, los granos de peso medio para hacer una mejor selección del café, por último, por la salida principal, baja el grano que cumple las condiciones de peso, estos granos pasan por otros equipos llamados estiles, los cuales también seleccionan el grano por peso. Cada estil, tiene 3 salidas, una principal por donde sale el grano de mejores condiciones, (el cual pasa a la siguiente etapa del proceso), y otras dos, por las que sale el grano menos pesado, el cual es recirculado por todos los otros estiles, para que sea sometido al mismo proceso y

de esta manera se optimice la clasificación. Si después de pasar por el ciclo de los 5 estiles, un grano no es seleccionado como posible producto de exportación, debido a que no cumple las condiciones de peso ideales, este grano es desechado y es destinado para consumo nacional.

La siguiente etapa del proceso, se realiza electrónicamente, por medio de equipos que seleccionan el grano aceptable según su color. El grano aceptado por las máquinas que tienen especificada una longitud de onda del color y un patrón de comparación, es el grano de exportación, y lo demás es el grano para el consumo nacional.

El paso final, después de seleccionado todo el grano de exportación, es el proceso de tasa, que consiste en sacar una muestra de café verde, tostado y molido para que un experto, en el laboratorio de control de calidad cate el café y evalúe la acidez, amargura, rancidez y aroma. Una vez comparados los resultados, se clasifica el lote al que pertenece la muestra, como de exportación o consumo nacional.

En la siguiente página se muestra un plano de la distribución de planta de la empresa.

### **3.3 ANÁLISIS DE DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA TRILLADORA BUCARAMANGA**

Se tienen las siguientes máquinas y equipos:

- |                       |                         |
|-----------------------|-------------------------|
| ✓ 28 Elevadores       | Potencia 2 HP, 1700 rpm |
| ✓ 5 Estiles           | Potencia 8 HP, 1700 rpm |
| ✓ 5 Catadoras         | Potencia 2 HP, 1700 rpm |
| ✓ 8 Tornillos Sin Fin | Potencia 2 HP, 1700 rpm |

✓ 1 Trilladora

Potencia 50 HP, 800 rpm

✓ 5 Seleccionadoras Por Color Electrónicas

Potencia 25 HP

**Figura 10. Plano de Planta de la Empresa - Planta Baja**

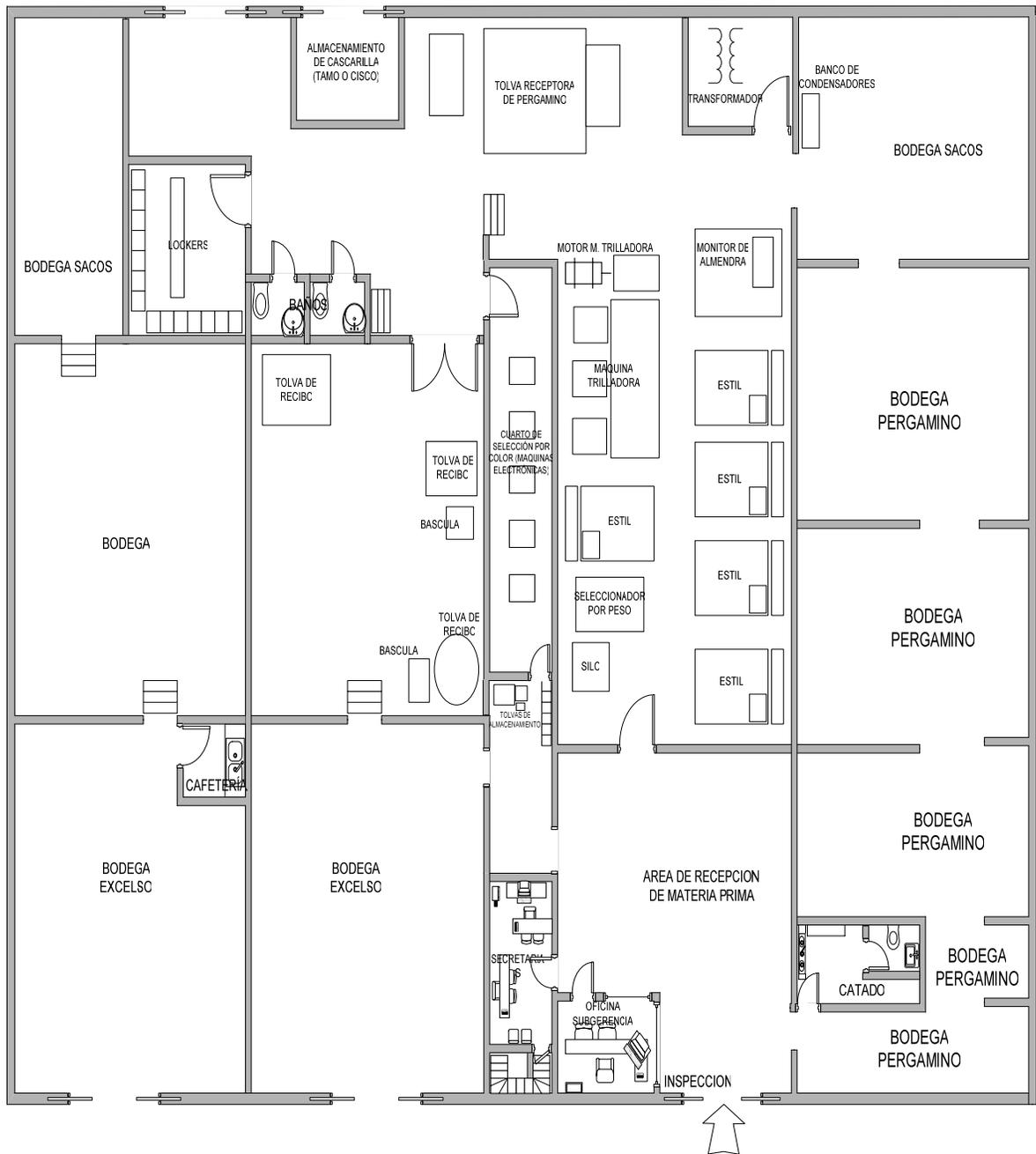
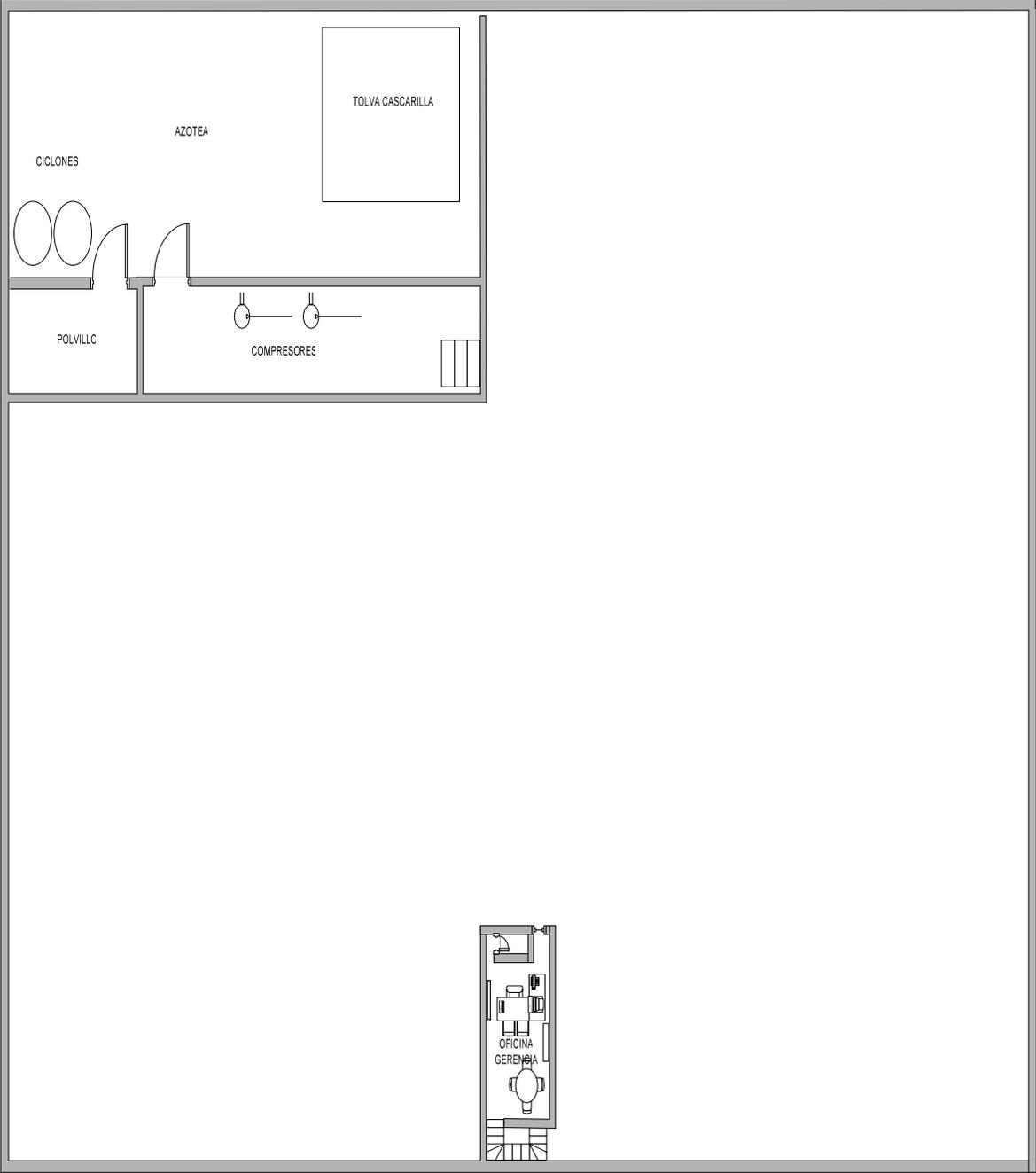


Figura 11. Plano de Planta de la Empresa - Planta Alta



**Tabla 4. Cuadro de Carga de la Trilladora Bucaramanga**

<b>Descripción de Equipo</b>	<b>Número de Equipos</b>	<b>Número de Motores Requeridos</b>	<b>Potencia Motor (HP)</b>	<b>Total Potencia (HP)</b>	<b>Total Potencia (Kw)</b>
Elevadores	28	28	2	56	42
Estiles	5	5	8	40	30
Catadoras	5	5	2	10	7
Tornillo sin fin	8	8	2	16	12
Trilladora	1	1	50	50	37
Seleccionadoras por color	5	1	25	25	19
Servicios generales	-	-	-	-	10
<b>Totales</b>	<b>52</b>	<b>48</b>	<b>89</b>	<b>197</b>	<b>157</b>

### **3.4. ANÁLISIS DE LA OFERTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE LA CASCARILLA DE CAFÉ**

Según la época del año, la cantidad de café que es procesado en la planta trilladora, aumenta o disminuye, proporcionalmente con la cosecha del café, de igual manera se comporta la producción de cascarilla y el consumo de energía eléctrica necesaria para el proceso.

En la Figura 12 se muestra la producción de cascarilla en los últimos años, los meses de mayor producción se encuentran entre Noviembre y Febrero con valores entre los 360.000 y 200.000 Kg. de cascarilla por período.

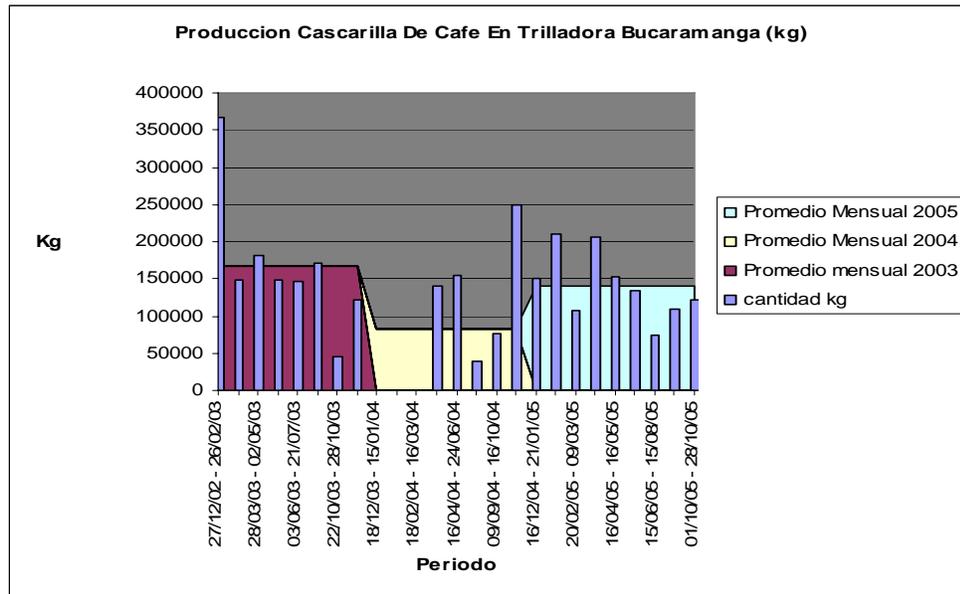
La caracterización de la cascarilla de café se puede observar en la Tabla 5.

Aunque el poder calorífico que se encuentra en esta fuente es alto (aproximadamente la mitad del p.c. de la gasolina), en otra fuente se encontró que el poder calorífico de la cascarilla variaba entre 4.900 y 7.000 BTU/lb<sup>11</sup> según su

<sup>11</sup> Energy Cogeneration Handbook. Tabla 4-9. Poder Calorífico de Desechos

zona de cultivación y otra serie de variables. Para el cálculo de dimensionamiento, se tomará el poder calorífico más bajo encontrado en dichas fuentes.

**Figura 12. Producción de Cascarilla en la Trilladora Bucaramanga**



**Tabla 5. Caracterización Físico-Química de la Cascarilla de Café**

PROPIEDADES QUÍMICAS		PROPIEDADES FÍSICAS	
Humedad	8.45 %	Densidad	1.323 gr/cm <sup>3</sup>
Cenizas	0.95 %	Densidad Bruta	0.323 gr/cm <sub>3</sub>
Celulosa	41.33 %	Poder calorífico	4.499.5 cal/gr.
Pentanosa	25.15 %	Relación Cascarilla/Almendra	0.2066
Lignina	15.29 %		
Grasas, Ceras, Resinas	5.83 %		

Fuente: Sarmiento León, Otto. Preparación de Carbones Activados por Cloruro de Zinc a Bajas Temperaturas Partiendo de la Cascarilla del Café.

### 3.5. SELECCIÓN DEL SISTEMA

Teniendo en cuenta los aspectos estudiados anteriormente, se ha elegido trabajar con el método de aprovechamiento energético de la biomasa, por medio de la combustión directa y con ciclo de vapor, por las siguientes razones:

- ✓ El ciclo de vapor, es el más conocido en centrales de potencia.
- ✓ El ciclo de gas, es más eficiente, que el ciclo de vapor, pero acarrearía costos adicionales en la implementación comparados con un ciclo de vapor, debido a que es necesario un compresor de gas; las temperaturas a las que trabaja el gasificador son muy elevadas (cerca de los 1000 °C) y además se requiere un equipo que limpie el gas, para que éste no deteriore la turbina.
- ✓ Adicionalmente, la tecnología no está totalmente desarrollada y la que existe es escasa y muy complicada de adquirir, debido a su tecnología y a sus costos. (Los costos de capital de un proyecto de gasificación similar al planteado ascienden a alrededor de 1 millón de dólares, sin incluir la turbina)<sup>12</sup>, en tanto que la primera aproximación a los costos de la instalación de un sistema de generación eléctrica por medio de vapor, asciende a US\$ 500.000<sup>13</sup> aproximadamente.
- ✓ Muchos de los equipos ofrecidos por los fabricantes, son prototipos o equipos de gran escala que trabajan con combustibles con un poder calorífico mucho más alto que el de la cascarilla de arroz, como el carbón.

---

<sup>12</sup> Benchmarking Biomass Gasification Technologies for Fuels, Chemicals and Hydrogen Production. U.S. Department of Energy - National Energy Technology Laboratory. Jared P. Ciferno & John J. Marano. - June 2002

<sup>13</sup> Cotizaciones tenidas en cuenta para la elaboración de este trabajo

No se ha planteado un sistema de cogeneración, debido a que en la planta productiva en la que se realiza el estudio no es necesario el vapor para ningún proceso.

## 4. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

Este capítulo es el centro del trabajo. Se muestra el dimensionamiento de la planta de generación propuesta, especificando sus componentes más importantes y además, se realiza el estudio económico del proyecto.

### 4.1 OFERTA Y DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA TRILLADORA BUCARAMANGA

**4.1.1 Demanda.** La demanda de energía eléctrica en la trilladora Bucaramanga, no consiste en una demanda constante durante todo el año, tiene un comportamiento similar al del cultivo del café en el país.

En la Tabla 4, se presentó el cuadro de carga de la empresa, la cual nos muestra que la máxima potencia, que puede consumir la empresa en un determinado momento es de 157 Kw.

Según las normatividad eléctrica colombiana, se deben tener algunos parámetros extras antes de diseñar cualquier sistema eléctrico; dichos parámetros son tenidos en cuenta a continuación, basándose en las normas para el cálculo y diseño de sistemas de distribución de la ESSA.

- **El Factor de Demanda.** Es la razón de la demanda máxima de un sistema a la carga instalada del mismo.

Los factores de demanda establecidos por norma se pueden apreciar en la Tabla 6.

**Tabla 6. Factores de Demanda Establecidos Por la ESSA**

Descripción	Carga (VA)	Factor de Demanda (%)
Residencial	Carga aparato mayor potencia	100
Estratos 1 y 2	Resto	50
Estratos 3 y 4	Carga aparato mayor potencia	100
	Resto	40
Estratos 5 y 6	Carga aparato mayor potencia	100
	Resto	30
Carga Áreas comunes	Motores	100
	Resto	60
Comercial		
Tomas comunes y Alumbrado	Primeros 5000	100
	Sobre 5000	50
Cargas especiales	Total	100
Industria	Según proyecto particular	

Fuente: Normas Para Cálculo y Diseño de Sistemas de Distribución ESSA. Página 21. Tabla 2.14. Factores de Demanda

Como se puede observar, en el cuadro de factores de demanda para el caso de industrias, se considera según el proyecto.

Para este caso el factor de demanda se consideró del 100 %.

Es decir, que:

$$\text{Factor de Demanda} = 100\% \text{ (Demanda Máxima)} \quad \text{Ecuación (15)}$$

$$\text{Demanda Máxima} = \text{Carga Instalada} \quad \text{Ecuación (16)}$$

Carga Instalada = 157 Kw  $\approx$  160 Kw

- **El Factor de Diversidad.** Es la razón de la suma de las demandas máximas individuales de las varias subdivisiones de un sistema, a la demanda máxima diversificada de todo el sistema.

La tabla de los factores de diversidad establecidos por norma son:

**Tabla 7. Factores de Diversidad Establecidos Por la ESSA**

N = Numero de usuarios

SECTOR	FACTOR DE DIVERSIDAD
ESTRATOS 1, 2, 3 y 4	$F_{div} = \frac{1}{0.2 + 0.8 * e^{\left(\frac{1-N}{6}\right)}}$
ESTRATOS 5 y 6	$F_{div} = \frac{1}{0.3 + 0.7 * e^{\left(\frac{1-N}{6}\right)}}$
COMERCIAL USUARIOS MONOFÁSICOS BIFILARES	$F_{div} = \frac{1}{0.2 + 0.8 * e^{\left(\frac{1-N}{4.5}\right)}}$
COMERCIAL USUARIOS TRIFILARES Y TETRAFILARES	$F_{div} = \frac{1}{0.3 + 0.7 * e^{\left(\frac{1-N}{4.5}\right)}}$

Fuente: Normas Para Cálculo y Diseño de Sistemas de Distribución ESSA. Página 22. Tabla 2.15. Factores de Diversidad

Como se observa en la tabla, el factor de diversidad utilizado en el proyecto, sería el aplicado a usuarios comerciales trifilares y tetrafilares. Y al estar trabajando sólo en una empresa, el N = 1; luego:

$$\text{Factor de Diversidad} = 1$$

Ecuación (17)

- **Demanda Máxima Diversificada.** Es la demanda máxima es el equivalente:

$$D_{\max\_Div} = \frac{D_{\max}}{F_{div}} \quad \text{Ecuación (18)}$$

Sería entonces:

$$D_{\max\_Div} = \frac{160}{1} = 160 \text{ Kw}$$

- **Demanda Máxima Diversificada y Proyectada.** Es la demanda máxima diversificada, proyectándola al número de años de vida útil de los equipos.

Así:

$$D_{\max\_div\_proy} = D_{\max\_div}(1 + 0.01)^n ; n = \# \text{ años} \quad \text{Ecuación (19)}$$

Entonces:

$$D_{\max\_div\_proy} = 160(1 + 0.01)^{15} \quad \text{Ecuación (20)}$$

$$D_{\max\_div\_proy} = 185 \text{ Kw}$$

Esta será la demanda total en potencia que deberá ser cubierta por el sistema que se plantea en este trabajo.

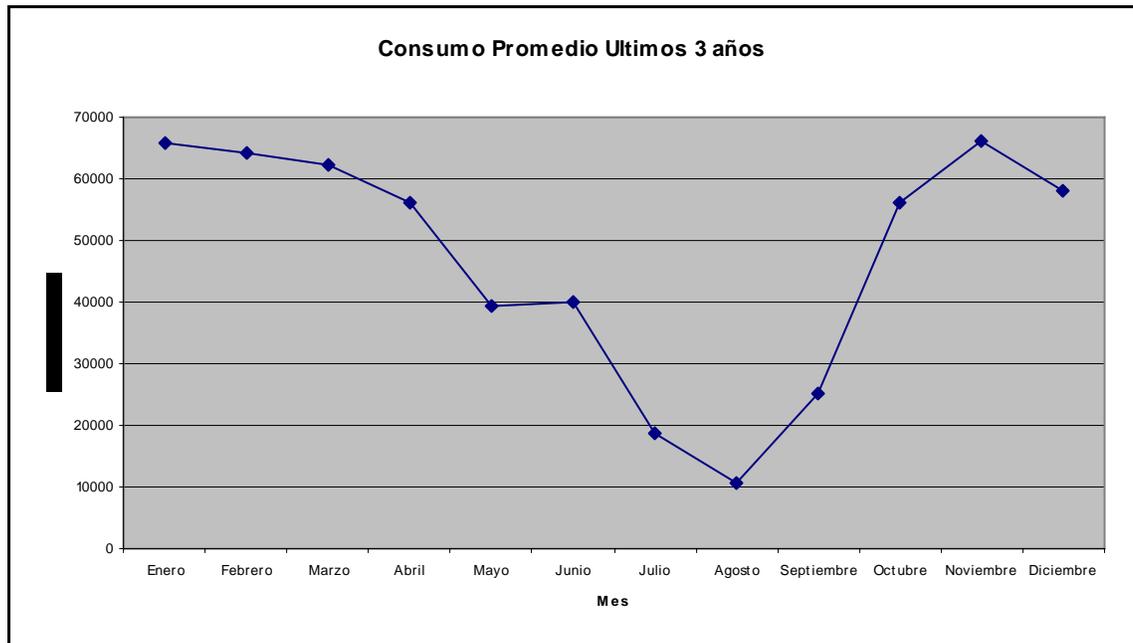
**4.1.2 Perfil Real de Consumo de Energía en la Empresa.** A continuación se presenta una tabla con los consumos eléctricos (promediados mensualmente), que ha registrado la empresa durante los últimos 3 años.

**Tabla 8. Consumo Promedio Mensual de Energía Eléctrica - Últimos Tres Años**

Mes	Consumo Promedio (Kwh)
Enero	65849
Febrero	64329
Marzo	62164
Abril	56097
Mayo	39269
Junio	40064
Julio	18813
Agosto	10557
Septiembre	25160
Octubre	56021
Noviembre	66128
Diciembre	57996

Fuente: Información Interna de la Trilladora Bucaramanga

**Figura 13. Consumo Promedio de Energía Eléctrica - Últimos Tres Años**



Fuente: Información Interna de la Trilladora Bucaramanga

En la Figura 12, se observa que los picos máximos de consumo se ubican en los meses de Noviembre a Marzo, y son equivalentes a un promedio de 68.000 Kwh.

Teniendo en cuenta lo anterior y basados en la demanda máxima diversificada y proyectada, concluimos que el sistema requerido para cubrir la demanda eléctrica de la trilladora debe suministrar 200 Kw. de potencia. A continuación, se describe el sistema y se dimensiona según la disposición de cascarilla para así poder calcular la generación de potencia que se consigue obtener.

## **4.2. OFERTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

Como se vio anteriormente, la producción de cascarilla de café, en lo transcurrido del año 2005 fue alrededor de 140 toneladas por mes, teniendo en cuenta, que los meses de Junio a Octubre son los más bajos en producción de todo el año. Basados en los datos encontrados en fuentes bibliográficas<sup>14</sup>, el poder calorífico de la cascarilla se tomará como 5000 BTU/Lb (el valor más bajo de los encontrados). Para el cálculo de la energía que se podría obtener con la combustión de la cascarilla, se tomará como base un balance de masa teniendo en cuenta las relaciones entregadas por la empresa.

Los datos que se ven a continuación son equivalentes a un día de máxima producción y son calculados según relaciones de peso; pueden variar, según el tipo de materia prima que se procese.

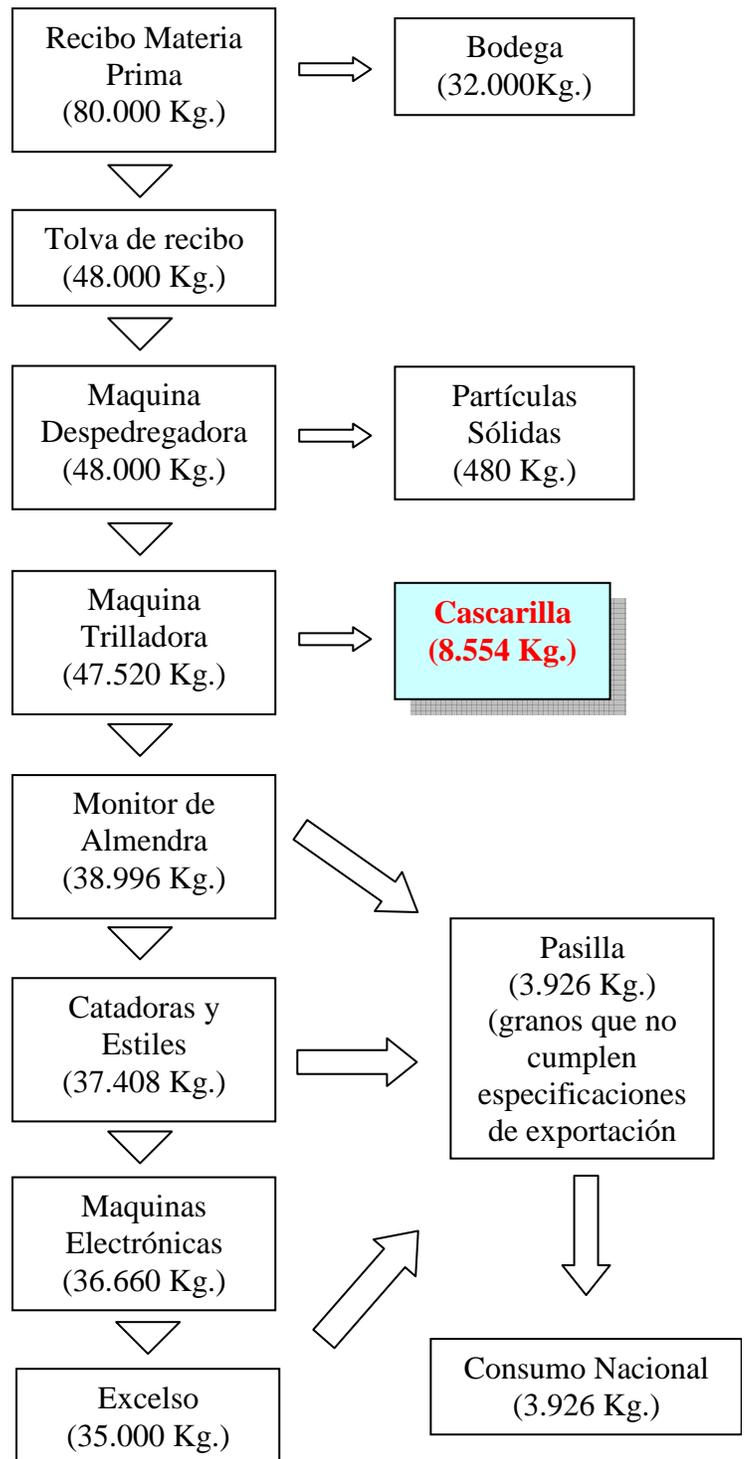
Como se observa en la Figura 13, la producción de cascarilla alcanza las 8.5 toneladas, de manera que se obtiene una energía de aproximadamente 93.500.000 de BTU. con la combustión de la cascarilla, si esta transformación tuviese rendimiento óptimo.

A continuación, se describe todo el sistema de generación para obtener un valor más cercano al real de la producción de cascarilla necesaria para suplir la demanda de energía eléctrica de la trilladora.

---

<sup>14</sup> Energy Cogeneration Handbook. Tabla 4-9. Poder Calorífico de Desechos

**Figura 14. Balance de Masa Para un Día de Producción Alta**

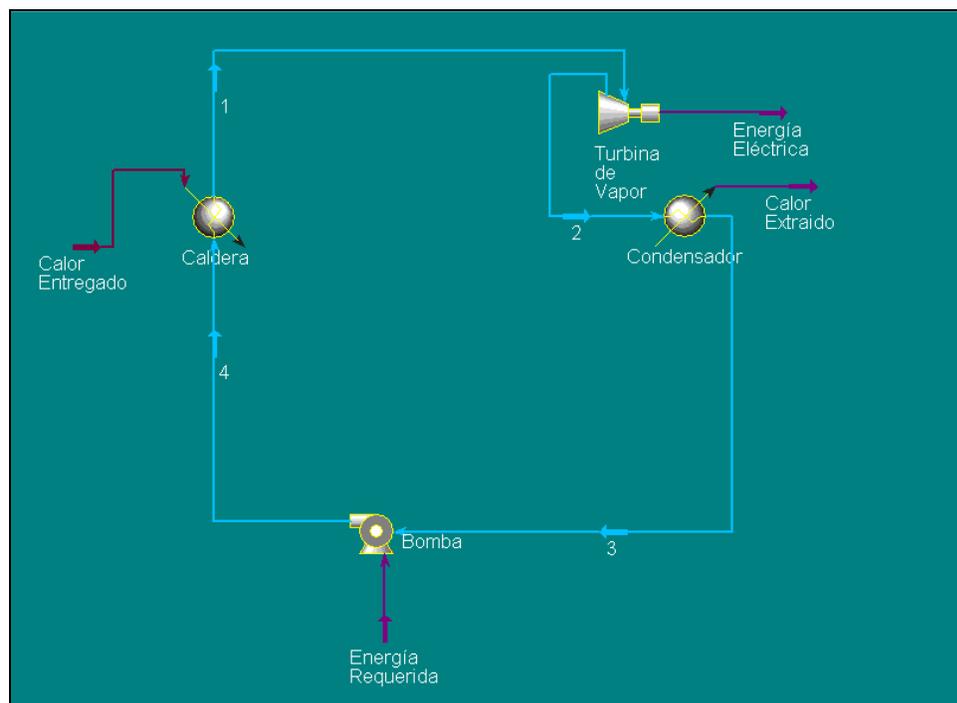


Fuente: Información interna de la Trilladora Bucaramanga

### 4.3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PARA EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE LA COMBUSTIÓN DE LA CASCARILLA DE CAFÉ

La base para el proceso planteado, es un ciclo Rankine simple; en la Figura 14 se observa el montaje general del sistema.

**Figura 15. Proceso Básico Para Generación de Energía Eléctrica**

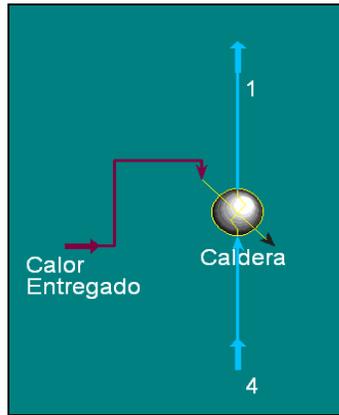


Los equipos requeridos para el montaje del sistema son los siguientes:

**4.3.1 Caldera.** En este equipo se adiciona calor a un fluido de trabajo, que en este caso es agua, hasta llevarlo al estado de vapor sobrecalentado, este calor ( $\dot{Q}$ ) será obtenido del combustible, que en nuestro caso es cascarilla de café, este calentamiento es considerado a presión constante (presión suministrada por la bomba), pero al igual que en otros equipos como el

condensador, existe un pequeña caída de presión producto del paso del fluido por la tubería.

**Figura 16. Caldera**



Conociendo el poder calorífico del combustible que se va a utilizar, y con la ecuación de conservación de energía (primera ley de termodinámica) tenemos que:

$$\dot{Q}_{su\ min\ istrado} = \dot{m}_1 (h_1 - h_4) \quad \text{Ecuación (21)}$$

A su vez:

$$\dot{Q}_{su\ min\ istrado} = \dot{m}_f * Q_{HV} h_c \quad \text{(Ecuación 22)}$$

Donde:

$\dot{m}_f$  = Flujo de combustible.

$Q_{HV}$  = Poder calorífico del combustible.

$h_c$  = Eficiencia de la caldera.

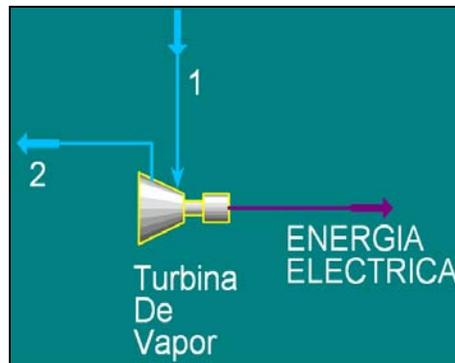
Teniendo en cuenta las ecuaciones anteriores:

$$h_c \dot{m}_f * Q_{HV} = \dot{m}(h_1 - h_4') \quad \text{Ecuación (23)}$$

**4.3.2 Turbina de Vapor.** Al considerar una eficiencia del generador ( $\eta_G$ ) de un 90%, la potencia en la turbina ( $P_T$ ) sería equivalente a:

$$P_T = \dot{m}_1 \eta_T (h_1 - h_2) \quad \text{Ecuación (24)}$$

**Figura 17. Turbina de Vapor**



Teniendo en cuenta que:

$$\eta_T = \frac{h_1 - h_2'}{h_1 - h_2} \quad \text{Ecuación (25)}$$

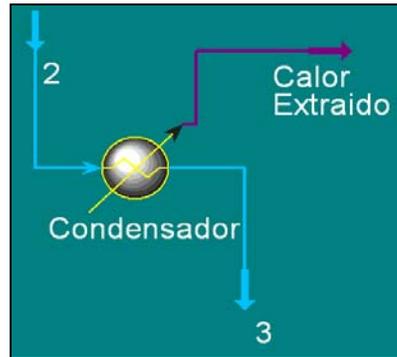
La entalpía del fluido a la salida de la turbina es:

$$h_2' = h_1 - \eta_T (h_1 - h_2) \quad \text{Ecuación (26)}$$

**4.3.3 Condensador.** El condensador es considerado como un intercambiador de calor, en el cual el vapor a la salida de la turbina cambia de fase de vapor a fase líquida, para ser recirculado nuevamente a la caldera. Lo que se hace en este

proceso es retirar al vapor una determinada cantidad de calor, para hacer que el fluido pase de la condición de vapor saturado a una condición de líquido saturado.

**Figura 18. Condensador de Vapor**



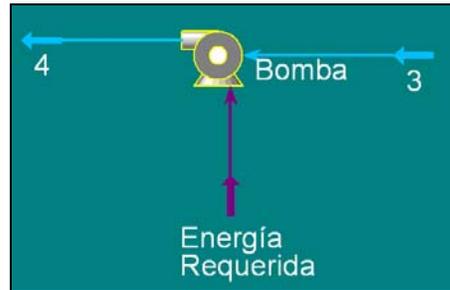
La cantidad de calor extraído es equivalente a:

$$\dot{Q}_{extraido} = \dot{m}_1(h_2' - h_3) \quad \text{Ecuación (27)}$$

Este proceso es considerado isobárico, pero realmente se presenta una pequeña caída de presión que para el objetivo de los cálculos generales no será tomada en cuenta.

**4.3.4 Bomba.** Este elemento, dará al fluido de trabajo, la presión requerida para el ingreso a la caldera; este proceso idealmente es considerado isentrópico (adiabático y reversible), pero en el ciclo real no se cumplen las idealizaciones, debido a que la pérdida de potencia es inevitable. Teniendo en cuenta esto, la eficiencia de la bomba ( $\eta_b$ ), es obtenida por curvas de comportamiento suministradas por el fabricante.

**Figura 19. Bomba**



Conociendo la eficiencia se obtiene la potencia requerida por la bomba de la siguiente manera:

$$\eta_b P_b = \dot{m}_1 (h_3 - h_4) \quad \text{Ecuación (28)}$$

En la ecuación anterior  $P_b = \text{Potencia requerida por la bomba}$ .

Como la eficiencia de la bomba es conocida, podemos tener la entalpía de la corriente 4 de la siguiente manera:

$$\eta_b = \frac{h_4 - h_3}{h_{4'} - h_3} \quad \text{Ecuación (29)}$$

Así

$$h_{4'} = \frac{h_4 - h_3 + \eta_b h_4}{\eta_b} \quad \text{Ecuación (30)}$$

Esta será la entalpía del fluido a la entrada de la caldera.

#### **4.4 DIMENSIONAMIENTO. ASPECTOS TÉCNICOS**

Para realizar el dimensionamiento de los equipos necesarios para la planta, se llevó a cabo un modelado termodinámico, basados en el ciclo Rankine simple, y

teniendo en cuenta las ecuaciones anteriormente vistas. A continuación se presenta una tabla resumen de los resultados obtenidos de los cálculos termodinámicos. El desarrollo termodinámico se encuentra en el Anexo A de este trabajo.

**Tabla 9. Propiedades Calculadas Para Los Puntos Del Proceso**

Punto	Temperatura (°C)	Presión (KPa)	Volumen Específico $\left(\frac{m^3}{Kg}\right)$	Entalpía $\left(\frac{Kj}{Kg}\right)$
1	500	5000	0.06858	3433
2	135	313	0.5820	2727
3	135	313	0.001075	567.69
4	140	5000	0.001068	582.15

De los resultados de los cálculos termodinámicos, tenemos que:

- Flujo de vapor en la caldera:

$$\eta_{caldera} * \dot{m}_{casarilla} * HHV_{casarilla} = m_1 (h_1 - h_4) \quad \text{Ecuación (31)}$$

$$\eta_{caldera} = 0.75$$

$$m_1 = 0.532 \text{ kg} / \text{s} \approx 4200 \text{ lb} / \text{h}$$

- Trabajo de la turbina:

$$W_t = \dot{m} (h_1 - h_2) \quad \text{Ecuación (32)}$$

$$W_t = 0.532 (3433 - 2727)$$

$$W_t = 375.6 \text{ Kw}.$$

- Potencia de la bomba:

$$P_b = 0.532 (582.15 - 567.69) \quad \text{Ecuación (33)}$$

$$p_b = 7.693 \text{ Kw} \approx 10 \text{ HP}$$

## 4.5 ANÁLISIS ECONÓMICO

**4.5.1 Descripción de Equipos Necesarios.** Al momento de llevar a cabo el análisis económico se deben tener en cuenta varios puntos importantes que influyen en el desarrollo del proyecto.

A continuación, basándonos en los datos calculados, y teniendo una idea más exacta de las características técnicas de los equipos necesarios para el montaje de la planta, la información suministrada por fabricantes, sobre la cual se desarrolla el análisis económico, es el que se muestra a continuación.

- Caldera:

Proveedor: RTP - Energía y sistemas técnicos

Biochamm Boiler – Turn-key basis

Costo: US\$ 496.000,00

Accesorios incluidos: ciclón multi-filtro, sobrecalentador de vapor, alimentador de aire primario y secundario, sistema automático de alimentación de combustible, CCM (control panel), automatización para generación de energía eléctrica, ducto de salida de gases, tubería de vapor y agua, instalación mecánica y eléctrica,

panel de encendido, entrenamiento a los operadores. La caldera se construye sobre una plataforma y no requiere de una construcción civil costosa adicional.

▪ Turbina:

Proveedor: TGM Turbinas.

Datos técnicos preliminares

Eficiencias estimadas: Generador: 93,0 %

**Tabla 10. Especificaciones de la Turbina**

Modelo de la turbina TG 320		
Potencia en los bornes del generador	350	Kw
Presión del vapor de entrada	50	Bar abs
Temperatura del vapor de entrada	500	°C
Caudal de vapor de entrada	2300	Kg/h
Presión del vapor de salida de la turbina	3.5	Bar abs
Consumo específico	16,5	Kg/Kw h
Rotación de la turbina	10000	rpm
Rotación del generador	1800	rpm
Tolerancia	3	%

Fuente: TGM-Turbinas. 2005

Resumen de los componentes de la turbina:

- ✓ Turbina a vapor TGM Simple-etapa TG 320 con reductor integrado
- ✓ Acople de baja rotación

- ✓ Regulador mecánico de velocidad Woodward TG 17
- ✓ Sistema de lubricación completo para el turbo-reductor
- ✓ Tanque de aceite suministrado integrado a la base de la turbina
- ✓ Rack de instrumentos local

Precio unitario preliminar:

Turbina TG 320:

Costo: US\$ 78.000,00

Impuestos: Excluidos por tratarse de exportación

Local Entrega: Ex-Works – Fábrica TGM, Sertãozinho - SP / Brasil y Fábrica Weg

Plazo de entrega – El plazo de entrega para los equipos será de 06 meses después la confirmación del pedido y pago del anticipo.

▪ Bomba:

Proveedor: Agromac Bucaramanga

Marca: Pedrollo. Italia.

Potencia: 10 H.P.

Caudal: 10 gal/min.

Costo: U\$ 522

**4.5.2 Resumen de Costos.** Teniendo en cuenta las especificaciones y cotizaciones anteriores, y al ser las alternativas mas económicas entre las cuales se recibió información de los fabricantes consultados, el resumen de los costos totales del proyecto y el mantenimiento del mismo son los señalados a continuación. El valor del dólar se toma igual a \$2300.

El costo total del de la instalación del sistema es:

**Tabla 11. Costo Total Del Sistema**

Costo Total De Inversión	
Costo total de los equipos requeridos (incluido el montaje y estudio de ingeniería)	\$ 1.465.556.000

Los costos de operación y mantenimiento son:

**Tabla 12. Costos de Operación y Mantenimiento Anuales**

Costos de operación y Mantenimiento	
Costo operarios y mantenimientos anuales	\$/años 24.657.360

**4.5.3 Flujo de Caja.** Para la elaboración del flujo de caja se tuvieron en cuenta los siguientes puntos.

Para la elaboración del flujo de caja se tomó el valor de inflación proyectado por el DNP (Departamento Nacional de Planeación), hasta el año 2010, de este año en adelante, no se encontró proyección y se asume el mismo valor del año 2010.

- **Ingresos.** La única fuente de ingresos que tiene el proyecto es el ahorro que representa para la empresa, el evitar el pago del recibo de energía eléctrica mensualmente, por ser autogenerador. El cual para este caso se denominó: *Auto abastecimiento energía eléctrica*. Adicional a esto, existe un subsidio que se debe pagar con el recibo de energía eléctrica, que corresponde a alrededor del 20% del valor total del consumo de energía, rubro que también se evitaría pagar, se le denomina para este caso: *Subsidio o contribución a electrificadora*.

- **Egresos.** Los puntos que representan egresos para la empresa al implantar el proyecto son los siguientes:
  - ✓ **Costos de Operación.** Comprende todo lo que se relacione con gastos en los cuales la empresa deba incurrir, para que su sistema funcione de la manera esperada. Y básicamente se conforma de:
    - Mano de obra. Representa el salario que la empresa debe pagar al operario del sistema
    - Mantenimiento. Representa, el valor del mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo que la empresa debe hacer a la maquinaria que adquiere.
  - ✓ **Costos de Financiación.** Comprende todas las responsabilidades que se adquieren con una entidad financiera, al recibir un crédito. Para el caso del flujo de caja comprende los siguientes puntos:
    - Intereses Crédito. Son los intereses que se generan de acuerdo al monto del crédito adquirido.
  - ✓ **Costos Deducibles.** Son los costos que se pueden medir y proyectar según la vida útil del proyecto.
  - ✓ **Depreciación.** Es el valor que pierde anualmente la maquinaria adquirida por su uso.
- **Ganancias Gravables.** Es la diferencia del total de ingresos y el total de egresos.

- **Impuestos a la Utilidad Venta de Activos.** Es el equivalente al 35% del valor total de las ganancias gravables.
- **Ingreso Gravable Por Venta de Activo.** Se asume que al final de la vida útil del proyecto, se venden los activos, y este valor es equivalente al valor que se encuentra por encima del valor en libros.
- **Impuestos a la Utilidad Venta de Activos.** Es un porcentaje igual al 20% del valor total de los Ingresos gravables por venta de activos.
- **Valor en Libros de los Activos Vendidos.** Es el valor que tiene los activos año tras años, teniendo en cuenta su depreciación, en este caso, al final del proyecto este valor será igual a 0.
- **Ganancias Netas.** Son iguales a la diferencia entre las ganancias gravables y la sumatoria de: (El impuesto a la utilidad venta de activos, Ingreso gravable por venta de activo, Impuestos a la utilidad venta de activos, Valor en libros de los activos vendidos).
- **Costos de Inversión.** Incluyen todo el valor del sistema más su instalación y estudio de ingeniería.
- **Crédito Recibido.** Es el valor total del crédito recibido, se relaciona solo en el año de recibido el mismo.
- **Amortizaciones.** Son los pagos anuales, aparte de los intereses, que se deben efectuar a la entidad financiera donde se solicitó el préstamo, es decir, el abono a la deuda.
- **Flujo Neto de Fondos.** El flujo neto de fondos es equivalente a:

(Ganancias netas - Costos de Inversión + Crédito Recibido - Amortizaciones).

El resumen del flujo neto de fondos se presenta a continuación; su desarrollo completo se encuentra en el Anexo B.

**Tabla 13. Resumen Flujo Neto de Caja**

	AÑOS					
	0	1	2	3	4	5
TOTAL INGRESOS	729278000	155340504	161554124.2	167208518.5	172224774.1	177391517.3
TOTAL EGRESOS	1465556000	144196128.3	145182422.7	146079950.6	146876186.1	147696308.7
FLUJO NETO DE CAJA	-736,278,000	11,144,376	16,371,701	21,128,568	25,348,588	29,695,209

	AÑOS					
	6	7	8	9	10	11
TOTAL INGRESOS	182,713,263	188,194,661	193,840,501	199,655,716	205,645,387	211,814,749
TOTAL EGRESOS						
FLUJO NETO DE CAJA	182,713,263	188,194,661	193,840,501	199,655,716	205,645,387	211,814,749

	AÑOS					
	12	13	14	15	16	17
TOTAL INGRESOS	218,169,191	224,714,267	231,455,695	238,399,366	245,551,347	252,917,887
TOTAL EGRESOS						
FLUJO NETO DE CAJA	218,169,191	224,714,267	231,455,695	238,399,366	245,551,347	252,917,887

	AÑOS		
	18	18	20
TOTAL INGRESOS	260,505,424	268,320,586	676,370,204
TOTAL EGRESOS			
FLUJO NETO DE CAJA	260,505,424	268,320,586	676,370,204

VPN	<b>-\$428,788,792</b>
-----	-----------------------

Como podemos observar el flujo de caja es negativo y por lo tanto el VPN también lo es, el proyecto propuesto en estas condiciones no es rentable para la empresa.

A continuación se elabora un análisis de sensibilidad, teniendo en cuenta que los equipos, al ser importados son más costosos y de esta manera se supone una variación en los costos para evaluar qué tanto afecta dicha variación en los costos de inversión al proyecto. La otra manera de que fuese más rentable el proyecto, sería que por determinada razón el costo de la energía eléctrica aumentara, y de esta manera, los ingresos aumentarían; esta opción no es evaluada, debido a que no se tiene una proyección muy acertada del precio de la energía.

#### 4.5.4 Análisis de Sensibilidad. Variando la inversión inicial.

A continuación se presenta una tabla resumen en la cual se muestra como varía el flujo neto de caja y el VPN de acuerdo a la variación en los costos de la inversión inicial.

- Primer análisis de sensibilidad, disminuyendo 10% del costo de la inversión inicial.

**Tabla 14. Flujo Neto de Caja, Disminuyendo 10 % Del Costo de la Inversión**

	AÑOS					
	0	1	2	3	4	5
TOTAL INGRESOS	729278000	155340504	161554124.2	167208518.5	172224774.1	177391517.3
TOTAL EGRESOS	1465556000	142695972.3	143622260.5	144465182.7	145212975.1	145983201.3
FLUJO NETO DE CAJA	-736,278,000	12,644,532	17,931,864	22,743,336	27,011,799	31,408,316

	AÑOS					
	6	7	8	9	10	11
TOTAL INGRESOS	182,713,263	188,194,661	193,840,501	199,655,716	205,645,387	211,814,749
TOTAL EGRESOS						
FLUJO NETO DE CAJA	182,713,263	188,194,661	193,840,501	199,655,716	205,645,387	211,814,749

	AÑOS					
	12	13	14	15	16	17
TOTAL INGRESOS	218,169,191	224,714,267	231,455,695	238,399,366	245,551,347	252,917,887
TOTAL EGRESOS						
FLUJO NETO DE CAJA	218,169,191	224,714,267	231,455,695	238,399,366	245,551,347	252,917,887

	AÑOS		
	18	18	20
TOTAL INGRESOS	260,505,424	268,320,586	636,370,204
TOTAL EGRESOS			
FLUJO NETO DE CAJA	260,505,424	268,320,586	636,370,204

VPN	<b>-\$421,461,596</b>
-----	-----------------------

- Segundo análisis de sensibilidad, disminuyendo el 20% del costo de la inversión inicial.

**Tabla 15. Flujo Neto de Caja, Disminuyendo 20 % Del Costo de la Inversión**

	AÑOS					
	0	1	2	3	4	5
TOTAL INGRESOS	729278000	155340504	161554124.2	167208518.5	172224774.1	177391517.3
TOTAL EGRESOS	1465556000	141195816.3	142062098.2	142850414.8	143549764.2	144270094
FLUJO NETO DE CAJA	-736,278,000	14,144,688	19,492,026	24,358,104	28,675,010	33,121,423

	AÑOS					
	6	7	8	9	10	11
TOTAL INGRESOS	182,713,263	188,194,661	193,840,501	199,655,716	205,645,387	211,814,749
TOTAL EGRESOS						
FLUJO NETO DE CAJA	182,713,263	188,194,661	193,840,501	199,655,716	205,645,387	211,814,749

	AÑOS					
	12	13	14	15	16	17
TOTAL INGRESOS	218,169,191	224,714,267	231,455,695	238,399,366	245,551,347	252,917,887
TOTAL EGRESOS						
FLUJO NETO DE CAJA	218,169,191	224,714,267	231,455,695	238,399,366	245,551,347	252,917,887

	AÑOS		
	18	18	20
TOTAL INGRESOS	260,505,424	268,320,586	596,370,204
TOTAL EGRESOS			
FLUJO NETO DE CAJA	260,505,424	268,320,586	596,370,204

VPN	<b>-\$414,311,605</b>
-----	-----------------------

- Tercer análisis de sensibilidad, disminuyendo el 50% del costo de la inversión inicial.

**Tabla 16. Flujo Neto de Caja, Disminuyendo 50 % Del Costo de la Inversión**

	AÑOS					
	0	1	2	3	4	5
TOTAL INGRESOS	729278000	155340504	161554124.2	167208518.5	172224774.1	177391517.3
TOTAL EGRESOS	1465556000	136695348.2	137381611.4	138006110.9	138560131.2	139130772.1
FLUJO NETO DE CAJA	-736,278,000	18,645,156	24,172,513	29,202,408	33,664,643	38,260,745

	AÑOS					
	6	7	8	9	10	11
TOTAL INGRESOS	182,713,263	188,194,661	193,840,501	199,655,716	205,645,387	211,814,749
TOTAL EGRESOS						
FLUJO NETO DE CAJA	182,713,263	188,194,661	193,840,501	199,655,716	205,645,387	211,814,749

	AÑOS					
	12	13	14	15	16	17
TOTAL INGRESOS	218,169,191	224,714,267	231,455,695	238,399,366	245,551,347	252,917,887
TOTAL EGRESOS						
FLUJO NETO DE CAJA	218,169,191	224,714,267	231,455,695	238,399,366	245,551,347	252,917,887

	AÑOS		
	18	18	20
TOTAL INGRESOS	260,505,424	268,320,586	476,370,204
TOTAL EGRESOS			
FLUJO NETO DE CAJA	260,505,424	268,320,586	476,370,204

VPN	<b>-\$392,861,630</b>
-----	-----------------------

Al hacer el ejercicio y comparar los tres análisis, vemos que aunque se disminuya la inversión inicial, el proyecto no es factible, debido a que los ingresos obtenidos con el proyecto, representados en ahorros de pago de electricidad, son muy bajos comparados con el costo del sistema de generación.

**4.5.5 Flujo de Caja Sin Financiación.** En este punto se muestra el flujo de caja del proyecto, si éste fuese costeado en su totalidad por recursos propios, sin tener que incurrir en préstamos con entidades financieras.

**Tabla 17. Flujo Neto de Caja, Sin Financiación**

	AÑOS					
	0	1	2	3	4	5
TOTAL INGRESOS	0	155340504	161554124.2	167208518.5	172224774.1	177391517.3
TOTAL EGRESOS	1465556000	45274230.53	48090088.95	50652520.11	52925762.62	55267202.4
FLUJO NETO DE CAJA	-1,465,556,000	110,066,273	113,464,035	116,555,998	119,299,011	122,124,315

	AÑOS					
	6	7	8	9	10	11
TOTAL INGRESOS	182,713,263	188,194,661	193,840,501	199,655,716	205,645,387	211,814,749
TOTAL EGRESOS						
FLUJO NETO DE CAJA	182,713,263	188,194,661	193,840,501	199,655,716	205,645,387	211,814,749

	AÑOS					
	12	13	14	15	16	17
TOTAL INGRESOS	218,169,191	224,714,267	231,455,695	238,399,366	245,551,347	252,917,887
TOTAL EGRESOS						
FLUJO NETO DE CAJA	218,169,191	224,714,267	231,455,695	238,399,366	245,551,347	252,917,887

	AÑOS		
	18	18	20
TOTAL INGRESOS	260,505,424	268,320,586	676,370,204
TOTAL EGRESOS			
FLUJO NETO DE CAJA	260,505,424	268,320,586	676,370,204

VPN	<b>-\$523,479,436</b>
-----	-----------------------

La inversión base es demasiado alta, y aunque durante los 20 años de vida útil del proyecto el flujo es positivo, la inversión no alcanza a ser cubierta en su totalidad, debido a que los ingresos tampoco son muy altos. De manera que la única opción de hacerlo rentable es adquirir equipos con costos de alrededor del 50 % menores que los cotizados para el desarrollo de este trabajo.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ Los altos costos de los equipos utilizados en un sistema de generación de energía de este tipo, además de la poca presencia de los mismos en el mercado colombiano, hacen que la factibilidad económica de un proyecto de este tipo, sea poco favorable.
- ✓ Al hacer el análisis económico con los precios de las cotizaciones adquiridas, el proyecto no es rentable, debido al alto precio de los equipos. Sin embargo, según el análisis de sensibilidad realizado, se puede concluir que si se adquieren equipos nacionales, o equipos de segunda mano, de buena calidad, de tal manera que se reduzca el costo de inversión a la mitad, el proyecto si alcanzaría a ser factible económicamente. Esta reducción se considera probable según la información suministrada por el proveedor de los equipos.
- ✓ Analizando desde el punto de vista técnico, el sistema sería más eficiente si se incluyera dentro del mismo, un calentador de agua de alimentación en una línea de extracción de vapor de la turbina, para que de esta manera, en los días de baja producción de cascarilla, las temperaturas se mantuvieran estables y el trabajo de la producción de la planta no disminuyera notablemente.
- ✓ Teniendo en cuenta que en el caso de Bucaramanga, las trilladoras de café se encuentran ubicadas en un mismo sector, se recomienda contemplar la posibilidad de hacer una alianza estratégica para que se construyera una planta de generación central, que supla la demanda de energía eléctrica de todas las trilladoras, obteniendo así mayor economía por tratarse de un proyecto de mayor escala y con mayores recursos para invertir.

- ✓ En nuestro país existe poco conocimiento y escepticismo por parte del sector industrial de las posibilidades de generación de energía de forma alternativa, lo cual genera desconfianza en el momento de apoyar o invertir en proyectos de este tipo
  
- ✓ La integración del proceso de trilla con el de secado en instalaciones cercanas, podría propiciar la instalación de una planta cogeneradora. Se recomienda contemplar esta opción, que podría desarrollarse como un trabajo de grado futuro.
  
- ✓ Al contar con un banco de condensadores, un transformador propio y ser usuarios no regulados, los costos de la energía eléctrica disminuyen notablemente; si no se contase con estos tres factores, el proyecto sería más viable económicamente.

## BIBLIOGRAFÍA

**ÇENGEL, Yunus y BOLES, Michael.** Termodinámica. Cuarta Edición. México: McGrawHill. 2003.

**INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS.** Normas Colombianas para la Presentación de Trabajos de Investigación. Segunda Actualización. Bogotá D. C. ICONTEC. 1996. 126 p. NTC 1486, 1487, 1075, 4490.

**Normas Técnicas ESSA.** Normas Para Cálculo y Diseño de Sistemas De Distribución.

**Royo, Javier.** La Biomasa Como Fuente de Energía Renovable. CIRCE. Universidad de Zaragoza. 2002.

**Sarmiento León, Otto.** Preparación de Carbones Activados Por Cloruro de Zinc a Bajas Temperaturas Partiendo de la Cascarilla de Café.

**Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.** [en línea]. Colombia. [Citada el 3 de Junio de 2005]. Disponible en Internet: <http://www.cafedecolombia.com/caficultura/elcafe.html>.

**International Coffee Organization.** [on line]. USA.[Citada el 13 Septiembre de 2005]. Available of Internet: [www.ico.org](http://www.ico.org).

**La Cadena Productiva del Café.** [en línea]. Colombia. [Citada el 10 de Agosto de 2005]. Disponible en Internet: [http://www.agrocadenas.gov.co/cafe/cafe\\_reportes.htm](http://www.agrocadenas.gov.co/cafe/cafe_reportes.htm).

## **ANEXOS**

## ANEXO A. Cálculos Para la Selección del Sistema

En este anexo se muestran las diferentes variables tenidas en cuenta para la selección de los elementos que más se acomoden a las necesidades de la trilladora.

Como primera medida, para hacer un cálculo de las características que tendrá el sistema de generación de energía eléctrica, se desarrollará un proceso iterativo, suponiendo algunos datos referentes al funcionamiento de algunos componentes para luego seleccionarlos de la manera más acertada. Se trabajan dos tipos de sistemas, y finalmente se elige el más acertado y más económico para suplir las necesidades energéticas de la planta.

- ✓ En el primer caso, y con el fin de optimizar las condiciones a las que trabaja el ciclo de Rankine se trabaja con un calentador de agua de alimentación. El siguiente cálculo se elaborará para un proceso con un calentador de vapor a la salida de la turbina, con máxima carga de cascarilla, el poder calorífico de la cascarilla se tomará en primera medida como el máximo encontrado en fuentes bibliográficas, el cual es igual a 18807.91 KJ/Kg. El siguiente es el diagrama que ilustra la manera como se planteará el sistema:

Supondremos que el condensador trabaja a una presión de 10 KPa como base para realizar una primera aproximación, conociendo la presión en este punto, y con la ayuda de las tablas de vapor saturado tenemos que:

$$T_4 = 45.81^\circ C$$

$$v_4 = 0.00101 m^3 / Kg$$

$$h_4 = 191.83 KJ / Kg$$

$$S_4 = 0.6493 KJ / Kg^\circ k$$

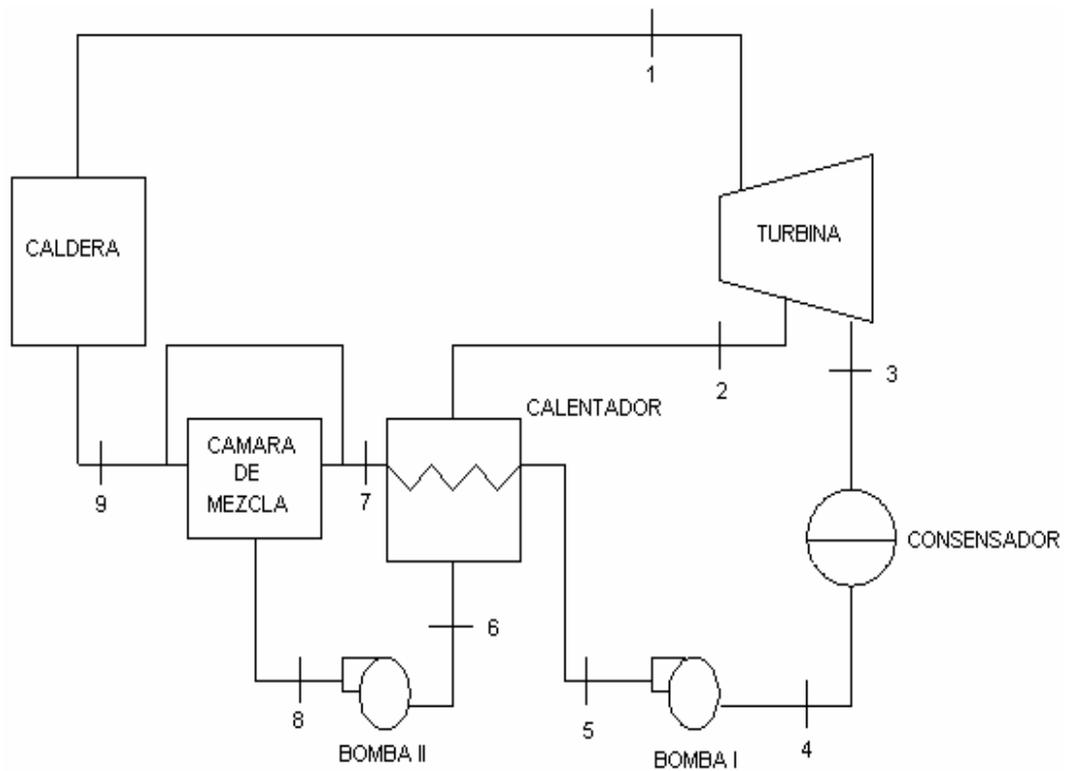


Figura A-1

En el punto 5, después del paso por la bomba I, supondremos que la presión de salida es de 5MPa, y que el proceso es ideal e isentrópico. Luego llevaremos el proceso a uno real. Tras hacer una interpolación con la ayuda de las tablas de líquido comprimido, las propiedades del punto 5 ideales son:

$$T_5 = 46.04^\circ C$$

$$v_5 = 0.0010013 m^3 / Kg$$

$$h_5 = 197.42 KJ / Kg$$

$$P_5 = 5000 KPa$$

Ahora para llevar las propiedades a la realidad tenemos que:

$$h_5' = \frac{h_5 - h_4 + \eta_{bomba} h_4}{\eta_{bomba}}$$

Si la eficiencia de la bomba es de 70%, entonces:

$$h_5' = \frac{197.4 - 191.83 + 0.7 * 191.83}{0.7}$$

$$h_5' = 199.78 \text{ KJ/Kg}$$

$$P_{bomba} = \frac{\dot{m}_1}{2} (h_5' - h_4)$$

$$P_{bomba} = \dot{m}_1 (3.97) * 2 = Q * H * \rho * g$$

$$\dot{m}_1 * 2 = Q * \rho$$

$$(3.97) * 2 = H_1 * g$$

La altura de la bomba será entonces:  $H_1 = 810.2 \text{ m}$

Teniendo ya las condiciones del punto 5, pasamos a estudiar el calentador.

$$h_7 = h_2' - h_6 + h_5'$$

Si la presión de extracción de vapor en la turbina es de 75KPa entonces:

$$h_6 = 376.92 \text{ KJ / Kg}$$

$$V_6 = 0.0001036 \text{ m}^3 / \text{Kg}$$

$$S_6 = 1.1925 \text{ KJ / Kg}^\circ \text{K}$$

$$h_7 = h_2' - 376.92 + 199.78$$

$$h_7 = h_2 - 177.14$$

Pasamos así a la bomba II:

$$P_{bomba} = \frac{\dot{m}_1}{2} (h_8' - h_6) = Q * \rho * H_{II} * g$$

$$h_8' - h_6 = H_{II}$$

Si al igual que la bomba anterior, suponemos una eficiencia del 70% en la bomba, una presión de salida de 5000 KPa y un proceso isentrópico, obtenemos:

$$T_8 = 90.43^\circ \text{C}$$

$$v_8 = 0.0010342 \text{ m}^3 / \text{Kg}$$

$$h_8 = 382.6 \text{ KJ / Kg}$$

$$h_8' = \frac{h_8 - h_6 + \eta_{bomba} * h_6}{\eta_{bomba}} = 385.03 \text{ KJ / Kg}$$

$$H_{II} = \frac{385.03 - 376.96}{9.8} * 1000$$

La altura de la bomba II será entonces:

$$H_{II} = 823.9 \text{ m}$$

Ahora pasamos a la cámara de mezclado, donde:

$$h_9 = \frac{h_7 + h_8'}{2} = \frac{h_2' - 177.14 + 385.03}{2}$$

$$h_9 = \frac{h_2' + 207.89}{2} \quad \text{A presión de 5000 KPa líquido comprimido.}$$

En la caldera y para el proceso de mínima carga, en el cual nos encontramos trabajando donde suponemos una producción de 5 toneladas que es equivalente a 0.115 Kg/s de flujo de combustible con un HHV=18807.91KJ/Kg. en la entrada de la caldera la cual tiene una eficiencia de 75%.

$$0.75 * 0.115 * 18807.91 = \dot{m}_1 (h_1 - h_9)$$

$$\dot{m}_1 \left[ \left( h_1 - \frac{h_2' - 207.89}{2} \right) \right] = 1622.18 \text{ Kw}$$

En esta ecuación se encuentran 3 incógnitas:  $\dot{m}_1, h_1$  &  $h_2'$  si tenemos en cuenta que  $S_1 = S_2$ , a través de un proceso iterativo podemos hallar las propiedades de los puntos 1,2 y 3 y el  $\dot{m}_1$  que circula si suponemos que el agua está saliendo a una temperatura de 450 °C de la caldera, tenemos que:

$$h_1 = 3316.2 \text{ KJ / Kg}$$

$$S_1 = 6.8186 \text{ KJ / Kg}^\circ \text{K}$$

$$S_2 = 6.8186 \text{ KJ / Kg}^\circ \text{K}$$

El vapor de entrada a la turbina, no puede tener una calidad inferior a 0.95%, teniendo en cuenta esta condición, comenzamos el proceso iterativo, obteniendo los siguientes resultados para los puntos 1, 2 y 3.

Tabla A-1. Resultados Del Proceso de Iteración

Iteración No.	Punto 1			Punto 2			Punto 3			X (%)
	$T_1$ (°C)	$h_1$ KJ/Kg	$S_1$ KJ/Kg°K	$T_2$ (°C)	$h_2$ KJ/Kg	$S_2$ KJ/Kg°K	$T_3$ (°C)	$h_3$ KJ/Kg	$S_3$ KJ/Kg°K	
1	450	3316.2	6.81886	saturado	saturado	6.8186	saturado	saturado	6.8186	
2	700	3900.1	7.5122	86	2754.3	7.5122	saturado	saturado	7.5122	0.01
3	1100	4878	8.352	348	3144.3	8.352	no saturado	saturado	8.352	1
4	970	4551.6	8.1006	275	3024.3	8.1006	saturado	no saturado	8.1006	0.92
5	980	4576.4	8.1208	279	3032.2	8.1208	saturado	saturado	8.1208	0.96

Teniendo en cuenta la calidad del vapor, tenemos que la temperatura a la cual este vapor alcanza el límite de calidad, es de 980 °C. de esta forma:

$$h_3 = h_2 + x(h_v - h_l) = 191.83 + 0.96(2584.7 - 191.83)$$

$$h_3 = 2488.98$$

$$T_3 = 45.81$$

$$h_2' = h_1 - \eta_t(h_1 - h_2) = 3263.83$$

$$h_3' = h_2' - \eta_t(h_2' - h_3) = 2605.1775$$

$$h_7 = h_2' - 177.14 = 3086.69$$

$$h_9 = \frac{3263.83 + 207.89}{2} = 1735.86$$

Conociendo ya  $h_2'$  y  $h_7$  podemos encontrar la masa de vapor  $\dot{m}_1$  que circula por el sistema.

$$\dot{m}_1^* \left[ 4576.4 - \left( \frac{3263.83 - 207.89}{2} \right) \right] = 1622.18 \text{ Kw}$$

$$\dot{m}_1 = 0.532 \text{ Kg / s}$$

Ahora la potencia obtenida será:

$$\frac{P_g}{\eta_g \eta_t} = \dot{m}_1 \left( h_1 - h_2 + \frac{h_2'}{2} - \frac{h_3}{2} \right) = 1027.62$$

$$P_{generada} = 786.13 \text{ Kw}$$

Tabla A-2. Propiedades de los Puntos Del Sistema

Punto	T (°C)	V ( $m^3 / Kg$ )	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg °K)	P (KPa)
1	980	0.11518	4576.4	8.1208	5000
2	279	2.5411	3263.83	8.1398	75
3	45.81	14.67	2605.17	8.1502	10
4	45.81	0.00101	191.83	0.6493	10
5	46.04	0.0010015	199.78	0.6493	5000
6	91.78	0.0001036	376.92	1.1925	75
7	642	-	3086.69	-	5000
8	90.43	0.0010342	385.03	1.238	5000
9	385	0.00213	1735.86	3893	5000

La potencia neta obtenida por la planta es igual a:

$$P_n = P_g - P_{bl} - P_{bll}$$

$$P_{bl} = \frac{\dot{m}_1}{2} (h_5' - h_4) = 2.128 \text{ Kw}$$

$$P_{bll} = \frac{\dot{m}_1}{2} (h_8' - h_6) = 2.15726 \text{ Kw}$$

$$P_{aprovechada} = 786.13 - 2.128 - 2.15726 = 781.84 \text{ Kw}$$

Ahora entraremos a analizar un proceso en el cual, no se involucra el calentador de agua ni la cámara de mezcla. Este proceso se estudia para cuando existe alta oferta de combustible, la masa de vapor se toma igual que en el caso anterior y la presión del condensador es de 10 KPa.

$$T_4 = 45.81^\circ \text{C}$$

$$v_4 = 0.00101 \text{ m}^3 / \text{Kg}$$

$$h_4 = 191.83 \text{ KJ} / \text{Kg}$$

$$S_4 = 0.6493 \text{ KJ} / \text{Kg}^\circ \text{K}$$

El punto 5 esta a 5000 KPa, entonces:

$$T_5 = 46.04^\circ \text{C}$$

$$h_5 = 197.42 \text{ KJ} / \text{Kg}$$

$$V_5 = 0.0010013 \text{ m}^3 / \text{Kg}$$

$$S_5 = 0.6493 \text{ KJ} / \text{Kg}^\circ \text{K}$$

$$h_5' = 199.78$$

En la caldera tenemos:

$$\eta_{caldera} * m_{cascarilla} * HHV_{cascarilla} = \dot{m}_1 (h_1 - h_5')$$

$$m_{\text{cascarilla}} = 0.532 \text{ kg / s}$$

$$HHV_{\text{cascarilla}} = 18807.91 \text{ KJ / kg}$$

$$\eta_{\text{caldera}} = 0.75$$

Entonces:

$$h_1 = 6335.33 \text{ KJ / Kg}$$

$$P_1 = 5000 \text{ KPa}$$

$$T_1 = 1650^\circ \text{ C}$$

$$S_1 = 9.41 \text{ KJ / Kg}^\circ \text{ K}$$

Ahora pasando al análisis de la turbina:

$$T_3 = 385^\circ \text{ C}$$

$$P_3 = 10 \text{ KPa}$$

$$S_3 = 9.41 \text{ KJ / Kg}^\circ \text{ K}$$

$$h_3 = 3186.4 \text{ KJ / Kg}$$

El agua se encuentra en estado de vapor sobrecalentado.

La potencia generada y aprovechable son entonces:

$$\frac{P_g}{\eta_g \eta_t} = \dot{m}_1 (h_1 - h_3) = 1675 \text{KW}$$

$$P_g = 1281.55$$

$$P_{neta} = P_{gen} - P_{bomba} = 1281 - \dot{m}_1 (h_5' - h_4)$$

$$P_{neta} = 1276.77 \text{KW}$$

La tabla que se encuentra a continuación, muestra las condiciones en puntos importantes del sistema.

Tabla A-3. Propiedades en Puntos Del Sistema de Generación Simple a Máxima Carga de Combustible

Punto	T (°C)	h (KJ / Kg)	S (KJ / Kg°K)	P (KPa)
1	1650	6335.33	9.41	5000
3	358	3186.4	9.41	10
4	45.81	191.83	0.6493	10
5	46.04	197.78	0.6493	5000

Las características que deben tener los equipos que integren esta planta de generación deben ser:

#### Bomba I:

$$Potencia\_requerida \rightarrow P_{bl} = 0.53(199.78 - 191.83) = 42294 \text{KW}$$

$$\frac{P_{bl}}{\eta} = \frac{42294}{0.7} = 6.042 \text{KW} \Rightarrow 8.056 \text{HP}$$

$$Q = 0.532 * 0.00101 = 0.000537 \text{m}^3 / \text{s}$$

$$H = \frac{6.042}{0.532 * 9.8} = 1158.9 \text{mts.}$$

### Bomba II:

$$Potencia\_requerida \rightarrow P_{bl} = 2157 Kw$$

$$\frac{P_{bl}}{\eta} = \frac{2157}{0.7} = 3.08 Kw \Rightarrow 4.1 HP$$

$$Q = \frac{0.532}{2} * v_6 = \frac{0.532}{2} * 0.0001036 = 0.0000275 m^3 / s$$

$$H = \frac{3.08}{\frac{0.532}{2} * 9.8} = 1181.5 mts.$$

### Condensador:

$$m_{condensador} = 0.532 Kg / s$$

$$P = 10 KPa$$

### Caldera:

$$m_{caldera} = 0.532 Kg / s \rightarrow 4200 lb / h$$

$$P_{caldera} = 5 MPa$$

$$m_{cascarilla} = 0.2314 Kg / s$$

### Turbina:

$$W = 1300 Kw$$

$$P_{entrada} = 5000 KPa$$

$$T_{max-entrada} = 1650^\circ C$$

La temperatura de entrada a la turbina es demasiado alta y el poder calorífico de la cascarilla con la cual se trabajó, se baja al valor mínimo encontrado en fuentes

bibliograficas. Se trabaja el sistema teniendo como referencia la temperatura de entrada a la turbina como base para el cálculo.

$$\text{HHV} = 9500 \text{ KJ/Kg.}$$

$$T_1 = 500^\circ \text{C}$$

$$P_1 = 5 \text{ MPa}$$

$$h_1 = 3433 \text{ KJ / Kg.}$$

$$v = 0.006858$$

$$S = 6.974 \text{ KJ / Kg}^\circ \text{K}$$

Como el proceso en la turbina se puede considerar isentrópico y teniendo en cuenta que la calidad  $X > 0.95$ .

$$P_2 = 313 \text{ KPa}$$

$$T_2 = 135^\circ \text{C}$$

$$v_2 = 0.5820$$

$$h_2 = 2727 \text{ KJ / Kg}$$

$$W_t = \dot{m}_1 (h_1 - h_2)$$

$$W_t = 0.532 * (3433 - 2727) = 375.6 \text{ Kw}$$

Ahora para el proceso con el calentador y manteniendo el flujo másico de vapor y la presión en el condensador.

$$h_5 = 570.8 \text{ KJ / Kg.}$$

Si la presión de extracción de la turbina es de 4 Bar, entonces:

$$h_6 = 604.7 \text{ KJ / Kg}$$

$$h_8 = 612.4 \text{ KJ / Kg}$$

$$h_7 = h_2 - h_6 + h_5$$

$$h_7 = h_2 - 33.9$$

$$h_9 = \frac{h_2 - 33.9 + 612.4}{2}$$

$$h_9 = \frac{h_2 + 578.5}{2}$$

$$0.75 * 0.115 * 9500 = \dot{m}_1 (h_1 - h_9)$$

$$819.375 = 0.532(h_1 - h_9)$$

$$h_2 = 2818$$

$$h_3 = 2740$$

$$h_1 = 3480$$

$$h_9 = 1698.25$$

Se hace necesario reducir el  $\dot{m}_1$  para evitar el condensado; esta reducción se hace extrayendo vapor por medio de una tubería anexa.

El nuevo  $\dot{m}_1 = 0.45 \text{ Kg / s}$

La temperatura de entrada a la turbina será entonces:

$$T_1 = 520^\circ \text{ C}$$

Y el trabajo será:

$$W_t = 331Kw$$

Al igual que en el proceso anterior se pueden obtener los datos característicos de los puntos nos remitimos a las tablas de vapor. A continuación:

Tabla A-4. Proceso Sin Calentador

Punto	T (°C)	P (KPa)	V ( $m^3 / s$ )	h (KJ/Kg. °K)
1	500	5000	0.6858	3433
2	135	313	0.5820	2727
3	135	313	0.001075	567.69
4	140	5000	0.001068	582.15

Tabla A-5. Proceso Con Calentador

Punto	T (°C)	P (KPa)	V ( $m^3 / s$ )	h (KJ/Kg. °K)
1	520	5000	0.071	3480
2	190	404	0.504	2818
3	137	325	0.5620	2730
4	137	325	0.001076	573.25
5	138	5000	0.0010768	592.15
6	143.63	404	0.001084	604.74
7	140	5000	0.001085	600.2
8	145	5000	0.001085	612.4
9	143	5000	0.01083	603.4

De los cálculos realizados anteriormente, se toma como proceso base para el trabajo y estudio económico, el proceso simple, sin calentador, y con el poder calorífico mas bajo.

## **ANEXO B. Análisis Económico Para la Alternativa de Autogeneración Propuesta**

En este anexo se muestra todo el flujo de caja para cada una de las opciones estudiadas y presentadas en el capítulo de análisis económico.

Flujo de fondos para el caso base	0	1	2	3	4	5
<b>Ingresos</b>						
uto abastecimiento energía eléctrica	0	129,450,420	134,628,437	139,340,432	143,520,645	147,826,264
subsidio o contribución a electrificadora	0	25,890,084	26,925,687	27,868,086	28,704,129	29,565,253
<b>Total</b>		155,340,504	161,554,124	167,208,519	172,224,774	177,391,517
<b>Egresos</b>						
Costos de operación						
Mano de obra		9,655,800	10,042,032	10,393,503	10,705,308	11,026,467
Mantenimiento		15,001,560	15,601,623	16,147,679	16,632,110	17,131,073
<b>Total costos de operación</b>		24,657,360	25,643,655	26,541,183	27,337,418	28,157,541
<b>Costos financiación</b>						
Intereses crédito		112701256	111649647	110436300	109036341	107421067
<b>Costos deducibles</b>						
Depreciación		71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800
<b>Ganancias gravables</b>		- 53,795,913	- 47,516,978	- 41,546,764	- 35,926,785	- 29,964,891
Impuestos a la utilidad venta de activos						
Ingreso gravable por venta de activo						
Impuestos a la utilidad venta de activos						
Valor en libros de los activos vendidos						
<b>GANANCIAS NETAS</b>		- 53,795,913	- 47,516,978	- 41,546,764	- 35,926,785	- 29,964,891
Depreciación		71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800
<b>Costos de inversión</b>						
Caldera	1,140,800,000	0	0	0	0	0
Turb-gen	179,400,000	0	0	0	0	0
bombas	1,276,000	0	0	0	0	0
Condens	114,080,000	0	0	0	0	0
Estudio ingeniería	10,000,000	0	0	0	0	0
Instalación	20,000,000	0	0	0	0	0
<b>Total costos de inversión</b>	1,465,556,000	0	0	0	0	0
Credito recibido	729,278,000	0	0	0	0	0
Amortizaciones	0	6837512	7889121	9102468	10502427	12117701
<b>FLUJO NETO DE FONDOS</b>	- 736,278,000	11,144,376	16,371,701	21,128,568	25,348,588	29,695,209

	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Ingresos</b>								
Auto abastecimiento energía eléctrica	152,261,052	156,828,884	161,533,750	166,379,763	171,371,156	176,512,290	181,807,659	187,261,889
subsidio o contribución a electrificadora	30,452,210	31,365,777	32,306,750	33,275,953	34,274,231	35,302,458	36,361,532	37,452,378
<b>Total</b>	<b>182,713,263</b>	<b>188,194,661</b>	<b>193,840,501</b>	<b>199,655,716</b>	<b>205,645,387</b>	<b>211,814,749</b>	<b>218,169,191</b>	<b>224,714,267</b>
<b>Egresos</b>								
Costos de operación								
Mano de obra	11,357,261	11,697,979	12,048,919	12,410,386	12,782,698	13,166,179	13,561,164	13,967,999
Mantenimiento	17,645,005	18,174,355	18,719,586	19,281,174	19,859,609	20,455,397	21,069,059	21,701,131
<b>Total costos de operación</b>	<b>29,002,267</b>	<b>29,872,335</b>	<b>30,768,505</b>	<b>31,691,560</b>	<b>32,642,307</b>	<b>33,621,576</b>	<b>34,630,223</b>	<b>35,669,130</b>
<b>Costos financiación</b>								
Intereses crédito	105557365	103407025	100925963	98063314	94760389	90949474	86552441	81479144
<b>Costos deducibles</b>								
Depreciación	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800
<b>Ganancias gravables</b>	- 23,624,169	- 16,862,499	- 9,631,767	- 1,876,958	6,464,891	15,465,898	25,208,727	35,788,193
Impuestos a la utilidad venta de activos					2,262,712	5,413,064	8,823,054	12,525,868
Ingreso gravable por venta de activo								
Impuestos a la utilidad venta de activos								
Valor en libros de los activos vendidos								
<b>GANANCIAS NETAS</b>	<b>- 23,624,169</b>	<b>- 16,862,499</b>	<b>- 9,631,767</b>	<b>- 1,876,958</b>	<b>4,202,179</b>	<b>10,052,834</b>	<b>16,385,673</b>	<b>23,262,326</b>
Depreciación	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800
<b>Costos de inversión</b>								
Caldera	0	0	0	0	0	0	0	0
Turb-gen	0	0	0	0	0	0	0	0
bombas	0	0	0	0	0	0	0	0
Condens	0	0	0	0	0	0	0	0
Estudio ingeniería	0	0	0	0	0	0	0	0
Instalación	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total costos de inversion</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Credito recibido	0	0	0	0	0	0	0	0
Amortizaciones	13981403	16131743	18612805	21475454	24778379	28589294	32986327	38059624
<b>FLUJO NETO DE FONDOS</b>	<b>34,172,228</b>	<b>38,783,558</b>	<b>43,533,228</b>	<b>48,425,387</b>	<b>51,201,600</b>	<b>53,241,340</b>	<b>55,177,145</b>	<b>56,980,501</b>

	14	15	16	17	18	19	20
<b>Ingresos</b>							
Auto abastecimiento energía eléctrica	192,879,746	198,666,138	204,626,122	210,764,906	217,087,853	223,600,489	230,308,503
subsidio o contribución a electrificadora	38,575,949	39,733,228	40,925,224	42,152,981	43,417,571	44,720,098	46,061,701
<b>Total</b>	<b>231,455,695</b>	<b>238,399,366</b>	<b>245,551,347</b>	<b>252,917,887</b>	<b>260,505,424</b>	<b>268,320,586</b>	<b>276,370,204</b>
<b>Egresos</b>							
Costos de operación							
Mano de obra	14,387,039	14,818,650	15,263,210	15,721,106	16,192,739	16,678,521	17,178,877
Mantenimiento	22,352,165	23,022,730	23,713,412	24,424,814	25,157,558	25,912,285	26,689,654
<b>Total costos de operación</b>	<b>36,739,204</b>	<b>37,841,380</b>	<b>38,976,621</b>	<b>40,145,920</b>	<b>41,350,298</b>	<b>42,590,806</b>	<b>43,868,531</b>
<b>Costos financiación</b>							
Intereses crédito	75625573	68871724	61079133	52088041	41714119	29744688	15934358
<b>Costos deducibles</b>							
Depreciación	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800
<b>Ganancias gravables</b>	<b>47,313,118</b>	<b>59,908,462</b>	<b>73,717,793</b>	<b>88,906,126</b>	<b>105,663,207</b>	<b>124,207,292</b>	<b>144,789,515</b>
Impuestos a la utilidad venta de activos	16,559,591	20,967,962	25,801,227	31,117,144	36,982,123	43,472,552	50,676,330
Ingreso gravable por venta de activo							400,000,000
Impuestos a la utilidad venta de activos							80,000,000
Valor en libros de los activos vendidos							0
<b>GANANCIAS NETAS</b>	<b>30,753,526</b>	<b>38,940,500</b>	<b>47,916,565</b>	<b>57,788,982</b>	<b>68,681,085</b>	<b>80,734,740</b>	<b>414,113,185</b>
Depreciación	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800
<b>Costos de inversión</b>							
Caldera	0	0	0	0	0	0	0
Turb-gen	0	0	0	0	0	0	0
bombas	0	0	0	0	0	0	0
Condens	0	0	0	0	0	0	0
Estudio ingeniería	0	0	0	0	0	0	0
Instalación	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total costos de inversion</b>	<b>0</b>						
Credito recibido	0	0	0	0	0	0	0
Amortizaciones	43913195	50667044	58459635	67450727	77824649	89794080	103604410
<b>FLUJO NETO DE FONDOS</b>	<b>58,618,132</b>	<b>60,051,256</b>	<b>61,234,730</b>	<b>62,116,055</b>	<b>62,634,235</b>	<b>62,718,459</b>	<b>382,286,575</b>

<b>VPN</b>	<b>-\$428,788,792</b>
<b>TIR</b>	<b>4%</b>
<b>tio:</b>	<b>14%</b>

Flujo de fondos para análisis 1 (-10% de la inversión inicial)	0	1	2	3	4	5
<b>Ingresos</b>						
Auto abastecimiento energía eléctrica	0	129,450,420	134,628,437	139,340,432	143,520,645	147,826,264
subsidio o contribución a electrificadora	0	25,890,084	26,925,687	27,868,086	28,704,129	29,565,253
<b>Total</b>		<b>155,340,504</b>	<b>161,554,124</b>	<b>167,208,519</b>	<b>172,224,774</b>	<b>177,391,517</b>
<b>Egresos</b>						
Costos de operación						
Mano de obra		9,655,800	10,042,032	10,393,503	10,705,308	11,026,467
Mantenimiento		13,501,404	14,041,460	14,532,911	14,968,899	15,417,966
<b>Total costos de operación</b>		<b>23,157,204</b>	<b>24,083,492</b>	<b>24,926,415</b>	<b>25,674,207</b>	<b>26,444,433</b>
<b>Costos financiación</b>						
Intereses crédito		112701256	111649647	110436300	109036341	107421067
<b>Costos deducibles</b>						
Depreciación		71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800
<b>Ganancias gravables</b>		- 52,295,757	- 45,956,815	- 39,931,996	- 34,263,574	- 28,251,783
Impuestos a la utilidad venta de activos						
Ingreso gravable por venta de activo						
Impuestos a la utilidad venta de activos						
Valor en libros de los activos vendidos						
<b>GANANCIAS NETAS</b>		- 52,295,757	- 45,956,815	- 39,931,996	- 34,263,574	- 28,251,783
Depreciación		71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800
<b>Costos de inversión</b>						
Caldera	1,026,720,000	0	0	0	0	0
Turb-gen	161,460,000	0	0	0	0	0
bombas	1,148,400	0	0	0	0	0
Condens	102,672,000	0	0	0	0	0
Estudio ingeniería	10,000,000	0	0	0	0	0
Instalación	20,000,000	0	0	0	0	0
<b>Total costos de inversion</b>	<b>1,465,556,000</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Credito recibido	729,278,000	0	0	0	0	0
Amortizaciones	0	6837512	7889121	9102468	10502427	12117701
<b>FLUJO NETO DE FONDOS</b>	<b>- 736,278,000</b>	<b>12,644,532</b>	<b>17,931,864</b>	<b>22,743,336</b>	<b>27,011,799</b>	<b>31,408,316</b>

	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Ingresos</b>								
Auto abastecimiento energía eléctrica	152,261,052	156,828,884	161,533,750	166,379,763	171,371,156	176,512,290	181,807,659	187,261,889
subsidio o contribución a electrificadora	30,452,210	31,365,777	32,306,750	33,275,953	34,274,231	35,302,458	36,361,532	37,452,378
<b>Total</b>	<b>182,713,263</b>	<b>188,194,661</b>	<b>193,840,501</b>	<b>199,655,716</b>	<b>205,645,387</b>	<b>211,814,749</b>	<b>218,169,191</b>	<b>224,714,267</b>
<b>Egresos</b>								
Costos de operación								
Mano de obra	11,357,261	11,697,979	12,048,919	12,410,386	12,782,698	13,166,179	13,561,164	13,967,999
Mantenimiento	15,880,505	16,356,920	16,847,627	17,353,056	17,873,648	18,409,857	18,962,153	19,531,018
<b>Total costos de operación</b>	<b>27,237,766</b>	<b>28,054,899</b>	<b>28,896,546</b>	<b>29,763,443</b>	<b>30,656,346</b>	<b>31,576,036</b>	<b>32,523,317</b>	<b>33,499,017</b>
<b>Costos financiación</b>								
Intereses crédito	105557365	103407025	100925963	98063314	94760389	90949474	86552441	81479144
<b>Costos deducibles</b>								
Depreciación	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800
<b>Ganancias gravables</b>	- 21,859,668	- 15,045,064	- 7,759,809	51,159	8,450,852	17,511,438	27,315,633	37,958,306
Impuestos a la utilidad venta de activos				17,906	2,957,798	6,129,003	9,560,472	13,285,407
Ingreso gravable por venta de activo								
Impuestos a la utilidad venta de activos								
Valor en libros de los activos vendidos								
<b>GANANCIAS NETAS</b>	- 21,859,668	- 15,045,064	- 7,759,809	33,253	5,493,054	11,382,435	17,755,161	24,672,899
Depreciación	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800
<b>Costos de inversión</b>								
Caldera	0	0	0	0	0	0	0	0
Turb-gen	0	0	0	0	0	0	0	0
bombas	0	0	0	0	0	0	0	0
Condens	0	0	0	0	0	0	0	0
Estudio ingeniería	0	0	0	0	0	0	0	0
Instalación	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total costos de inversion</b>	<b>0</b>							
Credito recibido	0	0	0	0	0	0	0	0
Amortizaciones	13981403	16131743	18612805	21475454	24778379	28589294	32986327	38059624
<b>FLUJO NETO DE FONDOS</b>	<b>35,936,728</b>	<b>40,600,993</b>	<b>45,405,186</b>	<b>50,335,599</b>	<b>52,492,475</b>	<b>54,570,941</b>	<b>56,546,634</b>	<b>58,391,075</b>

	14	15	16	17	18	19	20
<b>Ingresos</b>							
Auto abastecimiento energía eléctrica	192,879,746	198,666,138	204,626,122	210,764,906	217,087,853	223,600,489	230,308,503
subsidio o contribución a electrificadora	38,575,949	39,733,228	40,925,224	42,152,981	43,417,571	44,720,098	46,061,701
<b>Total</b>	<b>231,455,695</b>	<b>238,399,366</b>	<b>245,551,347</b>	<b>252,917,887</b>	<b>260,505,424</b>	<b>268,320,586</b>	<b>276,370,204</b>
<b>Egresos</b>							
Costos de operación							
Mano de obra	14,387,039	14,818,650	15,263,210	15,721,106	16,192,739	16,678,521	17,178,877
Mantenimiento	20,116,948	20,720,457	21,342,070	21,982,333	22,641,803	23,321,057	24,020,688
<b>Total costos de operación</b>	<b>34,503,987</b>	<b>35,539,107</b>	<b>36,605,280</b>	<b>37,703,439</b>	<b>38,834,542</b>	<b>39,999,578</b>	<b>41,199,565</b>
<b>Costos financiación</b>							
Intereses crédito	75625573	68871724	61079133	52088041	41714119	29744688	15934358
<b>Costos deducibles</b>							
Depreciación	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800
<b>Ganancias gravables</b>	<b>49,548,334</b>	<b>62,210,735</b>	<b>76,089,134</b>	<b>91,348,608</b>	<b>108,178,963</b>	<b>126,798,521</b>	<b>147,458,480</b>
Impuestos a la utilidad venta de activos	17,341,917	21,773,757	26,631,197	31,972,013	37,862,637	44,379,482	51,610,468
Ingreso gravable por venta de activo							360,000,000
Impuestos a la utilidad venta de activos							72,000,000
Valor en libros de los activos vendidos							0
<b>GANANCIAS NETAS</b>	<b>32,206,417</b>	<b>40,436,978</b>	<b>49,457,937</b>	<b>59,376,595</b>	<b>70,316,326</b>	<b>82,419,038</b>	<b>383,848,012</b>
Depreciación	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800
<b>Costos de inversión</b>							
Caldera	0	0	0	0	0	0	0
Turb-gen	0	0	0	0	0	0	0
bombas	0	0	0	0	0	0	0
Condens	0	0	0	0	0	0	0
Estudio ingeniería	0	0	0	0	0	0	0
Instalación	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total costos de inversion</b>	<b>0</b>						
Credito recibido	0	0	0	0	0	0	0
Amortizaciones	43913195	50667044	58459635	67450727	77824649	89794080	103604410
<b>FLUJO NETO DE FONDOS</b>	<b>60,071,022</b>	<b>61,547,733</b>	<b>62,776,101</b>	<b>63,703,668</b>	<b>64,269,477</b>	<b>64,402,758</b>	<b>352,021,402</b>

<b>VPN</b>	<b>-\$421,461,596</b>
<b>TIR</b>	<b>4%</b>
<b>tio:</b>	<b>14%</b>

Flujo de fondos para análisis 2  
(-20% de la inversión inicial)

	0	1	2	3	4	5
<b>Ingresos</b>						
Auto abastecimiento energía eléctrica	0	129,450,420	134,628,437	139,340,432	143,520,645	147,826,264
subsidio o contribución a electrificadora	0	25,890,084	26,925,687	27,868,086	28,704,129	29,565,253
<b>Total</b>		155,340,504	161,554,124	167,208,519	172,224,774	177,391,517
<b>Egresos</b>						
Costos de operación						
Mano de obra		9,655,800	10,042,032	10,393,503	10,705,308	11,026,467
Mantenimiento		12,001,248	12,481,298	12,918,144	13,305,688	13,704,858
<b>Total costos de operación</b>		21,657,048	22,523,330	23,311,647	24,010,996	24,731,326
<b>Costos financiación</b>						
Intereses crédito		112701256	111649647	110436300	109036341	107421067
<b>Costos deducibles</b>						
Depreciación		71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800
<b>Ganancias gravables</b>	-	50,795,601	- 44,396,653	- 38,317,228	- 32,600,363	- 26,538,676
Impuestos a la utilidad venta de activos						
Ingreso gravable por venta de activo						
Impuestos a la utilidad venta de activos						
Valor en libros de los activos vendidos						
<b>GANANCIAS NETAS</b>	-	50,795,601	- 44,396,653	- 38,317,228	- 32,600,363	- 26,538,676
Depreciación		71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800
<b>Costos de inversión</b>						
Caldera	912,640,000	0	0	0	0	0
Turb-gen	143,520,000	0	0	0	0	0
bombas	1,020,800	0	0	0	0	0
Condens	91,264,000	0	0	0	0	0
Estudio ingeniería	10,000,000	0	0	0	0	0
Instalación	20,000,000	0	0	0	0	0
<b>Total costos de inversión</b>	1,465,556,000	0	0	0	0	0
Credito recibido	729,278,000	0	0	0	0	0
Amortizaciones	0	6837512	7889121	9102468	10502427	12117701
<b>FLUJO NETO DE FONDOS</b>	- 736,278,000	14,144,688	19,492,026	24,358,104	28,675,010	33,121,423

	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Ingresos</b>								
Auto abastecimiento energía eléctrica	152,261,052	156,828,884	161,533,750	166,379,763	171,371,156	176,512,290	181,807,659	187,261,889
subsidio o contribución a electrificadora	30,452,210	31,365,777	32,306,750	33,275,953	34,274,231	35,302,458	36,361,532	37,452,378
<b>Total</b>	<b>182,713,263</b>	<b>188,194,661</b>	<b>193,840,501</b>	<b>199,655,716</b>	<b>205,645,387</b>	<b>211,814,749</b>	<b>218,169,191</b>	<b>224,714,267</b>
<b>Egresos</b>								
Costos de operación								
Mano de obra	11,357,261	11,697,979	12,048,919	12,410,386	12,782,698	13,166,179	13,561,164	13,967,999
Mantenimiento	14,116,004	14,539,484	14,975,669	15,424,939	15,887,687	16,364,318	16,855,247	17,360,905
<b>Total costos de operación</b>	<b>25,473,266</b>	<b>26,237,464</b>	<b>27,024,588</b>	<b>27,835,325</b>	<b>28,670,385</b>	<b>29,530,497</b>	<b>30,416,411</b>	<b>31,328,904</b>
<b>Costos financiación</b>								
Intereses crédito	105557365	103407025	100925963	98063314	94760389	90949474	86552441	81479144
<b>Costos deducibles</b>								
Depreciación	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800
<b>Ganancias gravables</b>	<b>- 20,095,168</b>	<b>- 13,227,628</b>	<b>- 5,887,850</b>	<b>1,979,277</b>	<b>10,436,813</b>	<b>19,556,978</b>	<b>29,422,539</b>	<b>40,128,419</b>
Impuestos a la utilidad venta de activos				692,747	3,652,885	6,844,942	10,297,889	14,044,947
Ingreso gravable por venta de activo								
Impuestos a la utilidad venta de activos								
Valor en libros de los activos vendidos								
<b>GANANCIAS NETAS</b>	<b>- 20,095,168</b>	<b>- 13,227,628</b>	<b>- 5,887,850</b>	<b>1,286,530</b>	<b>6,783,929</b>	<b>12,712,036</b>	<b>19,124,650</b>	<b>26,083,473</b>
Depreciación	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800
<b>Costos de inversión</b>								
Caldera	0	0	0	0	0	0	0	0
Turb-gen	0	0	0	0	0	0	0	0
bombas	0	0	0	0	0	0	0	0
Condens	0	0	0	0	0	0	0	0
Estudio ingeniería	0	0	0	0	0	0	0	0
Instalación	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total costos de inversion</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Credito recibido	0	0	0	0	0	0	0	0
Amortizaciones	13981403	16131743	18612805	21475454	24778379	28589294	32986327	38059624
<b>FLUJO NETO DE FONDOS</b>	<b>37,701,229</b>	<b>42,418,429</b>	<b>47,277,145</b>	<b>51,588,875</b>	<b>53,783,349</b>	<b>55,900,542</b>	<b>57,916,123</b>	<b>59,801,648</b>

	14	15	16	17	18	19	20
<b>Ingresos</b>							
Auto abastecimiento energía eléctrica	192,879,746	198,666,138	204,626,122	210,764,906	217,087,853	223,600,489	230,308,503
subsidio o contribución a electrificadora	38,575,949	39,733,228	40,925,224	42,152,981	43,417,571	44,720,098	46,061,701
<b>Total</b>	<b>231,455,695</b>	<b>238,399,366</b>	<b>245,551,347</b>	<b>252,917,887</b>	<b>260,505,424</b>	<b>268,320,586</b>	<b>276,370,204</b>
<b>Egresos</b>							
Costos de operación							
Mano de obra	14,387,039	14,818,650	15,263,210	15,721,106	16,192,739	16,678,521	17,178,877
Mantenimiento	17,881,732	18,418,184	18,970,729	19,539,851	20,126,047	20,729,828	21,351,723
<b>Total costos de operación</b>	<b>32,268,771</b>	<b>33,236,834</b>	<b>34,233,939</b>	<b>35,260,957</b>	<b>36,318,786</b>	<b>37,408,349</b>	<b>38,530,600</b>
<b>Costos financiación</b>							
Intereses crédito	75625573	68871724	61079133	52088041	41714119	29744688	15934358
<b>Costos deducibles</b>							
Depreciación	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800
<b>Ganancias gravables</b>	<b>51,783,551</b>	<b>64,513,008</b>	<b>78,460,475</b>	<b>93,791,089</b>	<b>110,694,719</b>	<b>129,389,749</b>	<b>150,127,446</b>
Impuestos a la utilidad venta de activos	18,124,243	22,579,553	27,461,166	32,826,881	38,743,152	45,286,412	52,544,606
Ingreso gravable por venta de activo							320,000,000
Impuestos a la utilidad venta de activos							64,000,000
Valor en libros de los activos vendidos							0
<b>GANANCIAS NETAS</b>	<b>33,659,308</b>	<b>41,933,455</b>	<b>50,999,309</b>	<b>60,964,208</b>	<b>71,951,567</b>	<b>84,103,337</b>	<b>353,582,840</b>
Depreciación	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800
<b>Costos de inversión</b>							
Caldera	0	0	0	0	0	0	0
Turb-gen	0	0	0	0	0	0	0
bombas	0	0	0	0	0	0	0
Condens	0	0	0	0	0	0	0
Estudio ingeniería	0	0	0	0	0	0	0
Instalación	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total costos de inversion</b>	<b>0</b>						
Credito recibido	0	0	0	0	0	0	0
Amortizaciones	43913195	50667044	58459635	67450727	77824649	89794080	103604410
<b>FLUJO NETO DE FONDOS</b>	<b>61,523,913</b>	<b>63,044,211</b>	<b>64,317,473</b>	<b>65,291,281</b>	<b>65,904,718</b>	<b>66,087,057</b>	<b>321,756,230</b>

<b>VPN</b>	<b>-\$414,311,605</b>
<b>TIR</b>	<b>4%</b>
<b>tio:</b>	<b>14%</b>

Flujo de fondos para análisis 3  
(-50% de la inversión inicial)

	0	1	2	3	4	5
<b>Ingresos</b>						
Auto abastecimiento energía eléctrica	0	129,450,420	134,628,437	139,340,432	143,520,645	147,826,264
subsidio o contribución a electrificadora	0	25,890,084	26,925,687	27,868,086	28,704,129	29,565,253
<b>Total</b>		155,340,504	161,554,124	167,208,519	172,224,774	177,391,517
<b>Egresos</b>						
Costos de operación						
Mano de obra		9,655,800	10,042,032	10,393,503	10,705,308	11,026,467
Mantenimiento		7,500,780	7,800,811	8,073,840	8,316,055	8,565,537
<b>Total costos de operación</b>		17,156,580	17,842,843	18,467,343	19,021,363	19,592,004
<b>Costos financiación</b>						
Intereses crédito		112701256	111649647	110436300	109036341	107421067
<b>Costos deducibles</b>						
Depreciación		71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800
<b>Ganancias gravables</b>		- 46,295,133	- 39,716,166	- 33,472,925	- 27,610,730	- 21,399,354
Impuestos a la utilidad venta de activos						
Ingreso gravable por venta de activo						
Impuestos a la utilidad venta de activos						
Valor en libros de los activos vendidos						
<b>GANANCIAS NETAS</b>		- 46,295,133	- 39,716,166	- 33,472,925	- 27,610,730	- 21,399,354
Depreciación		71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800
<b>Costos de inversión</b>						
Caldera	570,400,000	0	0	0	0	0
Turb-gen	89,700,000	0	0	0	0	0
bombas	638,000	0	0	0	0	0
Condens	57,040,000	0	0	0	0	0
Estudio ingeniería	10,000,000	0	0	0	0	0
Instalación	20,000,000	0	0	0	0	0
<b>Total costos de inversion</b>	1,465,556,000	0	0	0	0	0
Credito recibido	729,278,000	0	0	0	0	0
Amortizaciones	0	6837512	7889121	9102468	10502427	12117701
<b>FLUJO NETO DE FONDOS</b>	- 736,278,000	18,645,156	24,172,513	29,202,408	33,664,643	38,260,745

	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Ingresos</b>								
Auto abastecimiento energía eléctrica	152,261,052	156,828,884	161,533,750	166,379,763	171,371,156	176,512,290	181,807,659	187,261,889
subsidio o contribución a electrificadora	30,452,210	31,365,777	32,306,750	33,275,953	34,274,231	35,302,458	36,361,532	37,452,378
<b>Total</b>	<b>182,713,263</b>	<b>188,194,661</b>	<b>193,840,501</b>	<b>199,655,716</b>	<b>205,645,387</b>	<b>211,814,749</b>	<b>218,169,191</b>	<b>224,714,267</b>
<b>Egresos</b>								
Costos de operación								
Mano de obra	11,357,261	11,697,979	12,048,919	12,410,386	12,782,698	13,166,179	13,561,164	13,967,999
Mantenimiento	8,822,503	9,087,178	9,359,793	9,640,587	9,929,804	10,227,699	10,534,530	10,850,565
<b>Total costos de operación</b>	<b>20,179,764</b>	<b>20,785,157</b>	<b>21,408,712</b>	<b>22,050,973</b>	<b>22,712,502</b>	<b>23,393,877</b>	<b>24,095,694</b>	<b>24,818,564</b>
<b>Costos financiación</b>								
Intereses crédito	105557365	103407025	100925963	98063314	94760389	90949474	86552441	81479144
<b>Costos deducibles</b>								
Depreciación	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800
<b>Ganancias gravables</b>	- 14,801,666	- 7,775,322	- 271,974	7,763,629	16,394,696	25,693,597	35,743,257	46,638,759
Impuestos a la utilidad venta de activos				2,717,270	5,738,144	8,992,759	12,510,140	16,323,566
Ingreso gravable por venta de activo								
Impuestos a la utilidad venta de activos								
Valor en libros de los activos vendidos								
<b>GANANCIAS NETAS</b>	- 14,801,666	- 7,775,322	- 271,974	5,046,359	10,656,552	16,700,838	23,233,117	30,315,193
Depreciación	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800
<b>Costos de inversión</b>								
Caldera	0	0	0	0	0	0	0	0
Turb-gen	0	0	0	0	0	0	0	0
bombas	0	0	0	0	0	0	0	0
Condens	0	0	0	0	0	0	0	0
Estudio ingeniería	0	0	0	0	0	0	0	0
Instalación	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total costos de inversion</b>	<b>0</b>							
Credito recibido	0	0	0	0	0	0	0	0
Amortizaciones	13981403	16131743	18612805	21475454	24778379	28589294	32986327	38059624
<b>FLUJO NETO DE FONDOS</b>	<b>42,994,731</b>	<b>47,870,736</b>	<b>52,893,021</b>	<b>55,348,704</b>	<b>57,655,973</b>	<b>59,889,344</b>	<b>62,024,589</b>	<b>64,033,369</b>

	14	15	16	17	18	19	20
<b>Ingresos</b>							
Auto abastecimiento energía eléctrica	192,879,746	198,666,138	204,626,122	210,764,906	217,087,853	223,600,489	230,308,503
subsidio o contribución a electrificadora	38,575,949	39,733,228	40,925,224	42,152,981	43,417,571	44,720,098	46,061,701
<b>Total</b>	<b>231,455,695</b>	<b>238,399,366</b>	<b>245,551,347</b>	<b>252,917,887</b>	<b>260,505,424</b>	<b>268,320,586</b>	<b>276,370,204</b>
<b>Egresos</b>							
Costos de operación							
Mano de obra	14,387,039	14,818,650	15,263,210	15,721,106	16,192,739	16,678,521	17,178,877
Mantenimiento	11,176,082	11,511,365	11,856,706	12,212,407	12,578,779	12,956,143	13,344,827
<b>Total costos de operación</b>	<b>25,563,121</b>	<b>26,330,015</b>	<b>27,119,916</b>	<b>27,933,513</b>	<b>28,771,518</b>	<b>29,634,664</b>	<b>30,523,704</b>
<b>Costos financiación</b>							
Intereses crédito	75625573	68871724	61079133	52088041	41714119	29744688	15934358
<b>Costos deducibles</b>							
Depreciación	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800
<b>Ganancias gravables</b>	<b>58,489,200</b>	<b>71,419,827</b>	<b>85,574,498</b>	<b>101,118,533</b>	<b>118,241,986</b>	<b>137,163,435</b>	<b>158,134,342</b>
Impuestos a la utilidad venta de activos	20,471,220	24,996,939	29,951,074	35,391,487	41,384,695	48,007,202	55,347,020
Ingreso gravable por venta de activo							200,000,000
Impuestos a la utilidad venta de activos							40,000,000
Valor en libros de los activos vendidos							0
<b>GANANCIAS NETAS</b>	<b>38,017,980</b>	<b>46,422,887</b>	<b>55,623,424</b>	<b>65,727,047</b>	<b>76,857,291</b>	<b>89,156,232</b>	<b>262,787,322</b>
Depreciación	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800	71,777,800
<b>Costos de inversión</b>							
Caldera	0	0	0	0	0	0	0
Turb-gen	0	0	0	0	0	0	0
bombas	0	0	0	0	0	0	0
Condens	0	0	0	0	0	0	0
Estudio ingeniería	0	0	0	0	0	0	0
Instalación	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total costos de inversion</b>	<b>0</b>						
Credito recibido	0	0	0	0	0	0	0
Amortizaciones	43913195	50667044	58459635	67450727	77824649	89794080	103604410
<b>FLUJO NETO DE FONDOS</b>	<b>65,882,585</b>	<b>67,533,643</b>	<b>68,941,589</b>	<b>70,054,119</b>	<b>70,810,442</b>	<b>71,139,952</b>	<b>230,960,712</b>

<b>VPN</b>	<b>-\$392,861,630</b>
<b>TIR</b>	<b>4.18269%</b>
<b>tio:</b>	<b>14%</b>