

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA, DE LA  
IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA GASIFICADORA DE  
GENERACIÓN ELÉCTRICA, A BASE DE BIOMASA RESIDUAL, EN  
LA EMPRESA PALMA DE ACEITE DEL META (PAM).**



**JOHANN RICARDO ANCHIQUE CRUZ**

**Director:  
Néstor Coronado**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
BOGOTÁ D.C.  
2014**

**TITULO:**

**Estudio de factibilidad técnico y financiero, de la implementación de una planta gasificadora de generación eléctrica, a base de biomasa residual, en la empresa PALMA DE ACEITE DEL META (PAM)**

## CONTENIDO

<b>1</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y ANTECEDENTES:</b>	<b>7</b>
1.1	FORMULACIÓN:	20
<b>2</b>	<b>ALCANCE:</b>	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS:</b>	<b>21</b>
3.1	General:	21
3.2	Específicos:	21
<b>4</b>	<b>JUSTIFICACIÓN:</b>	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>MARCO TEÓRICO:</b>	<b>22</b>
5.1	Biomasa:	22
5.2	Técnicas de aprovechamiento energético de la biomasa	24
5.3	Sistemas de Generación de eléctrica a base de biomasa	31
<b>6</b>	<b>ABASTECIMIENTO DE BIOMASA RESIDUAL DE LA PALMA DE ACEITE:</b>	<b>33</b>
6.1	Caracterización de la palma de aceite:	33
6.2	Biomasa residual del proceso de extracción del aceite de palma	35
6.3	Procedimientos de recolección de biomasa residual	38
<b>7</b>	<b>PLANTA GASIFICADORA (estudio técnico)</b>	<b>43</b>
7.1	Especificaciones “Power Plant®”	43
7.2	Procesos internos del gasificador	43
7.2.1	Flujo de los sólidos:	45
7.2.2	Flujo de los gases	46
7.2.3	Flujo del escape	48
7.3	Combustibles adecuados para “Power Plant®”	48
	Identificación de componentes	51
7.4		51
7.5	Accesorios, insumos e implementos de seguridad	55
7.6	Diagramas de operaciones “Power Plant®” (Plan de manejo)	56
7.6.1	Proceso de gasificación	56
7.6.2	Proceso del motor (Generación de energía eléctrica)	58
7.6.3	Proceso de mantenimiento, adecuación y limpieza.	60

7.7	Alimentación del gasificador .....	62
7.8	Plan de instalación .....	65
<b>8</b>	<b>PROCEDIMIENTOS DE RE-UTILIZACIÓN.....</b>	<b>67</b>
<b>9</b>	<b>INVERSION Y COSTOS DEL PROYECTO.....</b>	<b>71</b>
9.1	Inversión inicial (Costo “Power Plant®”).....	71
9.2	Costos de operación.....	74
9.3	Gastos .....	76
<b>10</b>	<b>BENEFICIOS ECONÓMICOS DEL PROYECTO POR AHORRO ENERGÉTICO</b>	<b>79</b>
<b>11</b>	<b>DEFINICIÓN DE ESCENARIOS (ALTERNATIVAS DE MANEJO) .....</b>	<b>81</b>
<b>12</b>	<b>ESTUDIO DE FACTIBILIDAD FINANCIERA .....</b>	<b>81</b>
12.1	Financiamiento del proyecto .....	81
12.2	Calculo de la tasa WACC (Weighted Average Cost of Capital).....	83
12.3	Evaluación de escenarios .....	85
12.3.1	Escenario 1.....	87
12.3.2	Escenario 2.....	88
12.3.3	Escenario 3.....	89
<b>13</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>93</b>
<b>14</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>94</b>
<b>15</b>	<b>RESTRICCIONES: .....</b>	<b>95</b>
<b>16</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS .....</b>	<b>95</b>
<b>17</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>100</b>
17.1	Anexo 1: Mapa mental antecedentes y formulación del problema .....	100
17.2	Anexo 2: Tabla de mantenimiento propuesta para “Power Plant®” .....	101
17.3	Anexo 3: Cotización “Power Plant®” .....	102
17.4	Anexo 4: Cotización escalera de alimentación.....	103
17.5	Anexo 5: Configuración de alambrado y voltajes + Tabla de opciones de voltaje	104
17.6	Anexo 6: Cotización importación de la planta + Seguros + gastos de nacionalización + recargos + aduana + transporte terrestre Cartagena – Cumaral	105
17.7	Flujo de caja escenario “Optimista” .....	108

Tabla 1: Poder calórico inferior para biomasa residual en Colombia. Fuente: (Hernández, Prada, Lesmes, Ruiz, & Ortega, 2010, pág. 124) .....	15
Tabla 2: Potencial energético departamental para la biomasa residual de palma de aceite. Fuente: (Hernández, Prada, Lesmes, Ruiz, & Ortega, 2010, pág. 161) .....	16
Tabla 3: Especificaciones de planta gasificadora empresa All power Labs. Fuente: (Labs A. P., 2014).....	19
Tabla 4: Esquema de las distintas técnicas de utilización de biomasa con sus respectivos rangos de temperatura y composición del gas combustible producido. Fuente: (Estrada & Meneses, Gasificación de Biomasa para producción de combustibles de bajo poder calorífico y su utilización en generación de potencia y calor, 2004, pág. 3).....	24
Tabla 5: Caracterización de agente Gasificantes. Fuente: (Robaina & Reyes, 2012, pág. 1) .....	26
Tabla 6: Características de tecnologías aplicables para generación eléctrica a pequeña escala. Fuente: (Bagués, 2011, pág. 18).....	33
Tabla 7: Clasificación del fruto de palma de aceite según el espesor del endocarpio (Franke, 1994).....	34
Tabla 8: Oferta mundial de aceite de palma y estimativo de la biomasa residual producida (Gómez, Klose, & Rincón, Pirólisis de Biomasa - Cuesco de palma de aceite, 2008).....	36
Tabla 9: Poder calorífico de diferentes tipos de biomasa (Gómez, Klose, & Rincón, Pirólisis de Biomasa - Cuesco de palma de aceite, 2008).....	37
Tabla 10: Especificaciones de planta energética gasificadora "power plant" (Labs A. P., 2014).....	43
Tabla 11: Diferentes combustibles y su aptitud de uso para la planta energética "Power Plant" (Labs A. P., 2014).....	49
Tabla 12: Inversión inicial adquisición "Power Plant®" (Autor, 2014) .....	73
Tabla 13: Calculo factor salarial (Autor, 2014).....	75
Tabla 14: Costo hora-hombre y valor anual del salario (Autor, 2014) .....	75
Tabla 15: Cotización de implementos e insumos (Autor, 2014).....	76
Tabla 16: Costo anual de implementos e insumos según horas diarias de trabajo (Autor, 2014).....	78
Tabla 17: Datos utilizados para el cálculo del beneficio económico (Autor, 2014).....	79
Tabla 18: Beneficios Económicos del proyecto (Autor, 2014) .....	80
Tabla 19: Tabla de pagos del prestamo (Autor, 2014) .....	83
Tabla 20: Rentabilidades históricas sector agropecuario y sector palmero (sostenible, 2014) .....	84
Tabla 21: Variables utilizadas en el WACC (Autor, 2014) .....	84
Tabla 22: Flujo de caja escenario 1 (Autor, 2014).....	87
Tabla 23: Análisis financiero escenario 1 (Autor, 2014) .....	87
Tabla 24: Flujo de caja escenario 2 (Autor, 2014).....	88
Tabla 25: Análisis Financiero escenario 2 (Autor, 2014) .....	88

Tabla 26: Flujo de caja escenario 3 (Autor, 2014) .....	90
Tabla 27: Análisis financiero escenario 3 (Autor, 2014) .....	90
Tabla 28: Programación de mantenimiento sugerida (Labs A. P., 2014) .....	101
Ilustración 1: Gráfico de la emisión de CO2 per cápita en toneladas vs años, generado por la quema de combustibles fósiles y fabricación de cemento. Fuente: (División de Ciencias Ambientales del Laboratorio Nacional de Oak Ridge (Tennessee, 2012, pág. 1).....	8
Ilustración 2 : Solicitudes en falta de pronunciamiento del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial (MAVDT). Fuente: (Carvajal, 2012, pág. 16).....	9
Ilustración 3 : Fuentes de energías renovables a nivel mundial. Fuente: (ACER, 2012, pág. 1) .....	11
Ilustración 4: Diagrama de Proceso de fabricación de Biodiesel. Fuente: (FedeBiocombustibles, 2012, pág. 1) .....	12
Ilustración 5: Producción de energía con biomasa (millones de toneladas).Fuente: (Fernández, 2003, pág. 6) .....	13
Ilustración 6: Distribución de fuentes de Energía en Colombia. Fuente: (ACER, 2012, pág. 1) .....	13
Ilustración 7: Gasificador Updraft. Fuente: (Robaina & Reyes, 2012, pág. 1) ..	29
Ilustración 8: Gasificador tipo Downdraft. Fuente: (Robaina & Reyes, 2012, pág. 1) .....	30
Ilustración 9: Gasificador tipo Crossdraft. Fuente: (Robaina & Reyes, 2012, pág. 2) .....	31
Ilustración 10: Comparación de tecnologías de generación eléctrica aplicables al uso de biomasa. Fuente: (Bagués, 2011, pág. 16).....	31
Ilustración 11 Tipos y partes del fruto de palma de aceite (Franke, 1994) <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Ilustración 12: Balance de masa del proceso de extracción del aceite de palma (Gómez, Klose, & Rincón, Pirólisis de Biomasa - Cuesco de palma de aceite, 2008) .....	36
Ilustración 13: Vista frontal "Power Plant" (Labs A. P., 2014).....	51
Ilustración 14: Vista frontal-lateral "Power Plant" (Labs A. P., 2014) .....	52
Ilustración 15: Vista posterior "Power Plant" (Labs A. P., 2014).....	53
Ilustración 16: fotografía puerto de ignición "Power Plant" (Labs A. P., 2014) .	54
Ilustración 17: Fotografía panel de control "Power Plant" (Labs A. P., 2014)...	54
Ilustración 18: Mapa mental - Antecedentes y planteamiento del problema. Fuente: Autor.....	100

## 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y ANTECEDENTES:

Las fuentes convencionales de energía generan un impacto ambiental negativo, y consumen recursos no renovables. Esta situación se refleja en los constantes cambios de clima, la polución ambiental, calentamiento global y otros efectos dañinos al ecosistema.

Se puede observar en el anexo 1, un mapa mental del flujo de la idea que se desarrollara a través del planteamiento del problema para más claridad de los temas que se empezaran abordar.

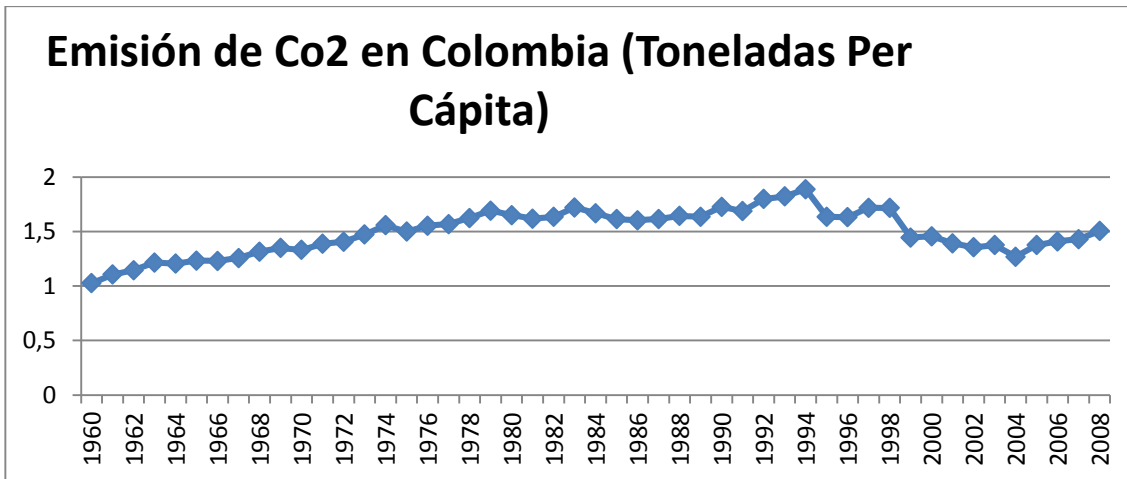
“En 1997 varias naciones se comprometen a implementar medidas para conservar el ambiente, por el cual se firma el Protocolo de Kyoto. Este protocolo busca establecer metas por nación para la disminución de los gases, como el CO<sub>2</sub> que contribuyen al calentamiento de la atmósfera terrestre (efecto invernadero)” (Gómez, Klose, & Rincón, Pirólisis de biomasa, 2008, pág. 1)

“Éstas emisiones de dióxido de carbono, provenientes principalmente de la combustión del carbón, petróleo y gas de las centrales eléctricas, los automóviles y las instalaciones industriales, se convierten en la principal causa del calentamiento global.

Aunque los volcanes, la descomposición de las plantas y los incendios forestales producen dióxido de carbono de manera natural, casi todos permanecen en equilibrio gracias a los sistemas naturales de la Tierra. Por ejemplo, las plantas y los océanos absorben y almacenan el dióxido de carbono.

Sin embargo, las miles de millones de toneladas de dióxido de carbono que se emiten anualmente, sobre todo aquéllas procedentes de la quema de combustibles fósiles, sobrepasan estos procesos naturales, lo que resulta en una acumulación continua de dióxido de carbono en la atmósfera”. (Talledo, 2012, pág. 1)

Debido a sus crecientes demandas de energía por una mayor industrialización y aumento de la población, todos los países aumentan sus emisiones de CO<sub>2</sub> con el tiempo. Colombia, por su parte presenta igualmente un comportamiento ascendente en los últimos años como se puede visualizar en la ilustración 1:



**Ilustración 1: Gráfico de la emisión de CO2 per cápita en toneladas vs años, generado por la quema de combustibles fósiles y fabricación de cemento. Fuente: (División de Ciencias Ambientales del Laboratorio Nacional de Oak Ridge (Tennessee, 2012, pág. 1)**

Aunque en el año 1996 se registró una disminución de las emisiones de CO2, desde el 2004 vuelve a presentar una pendiente positiva, lo que indica nuevamente un aumento constante en la generación de este gas por persona, siguiendo una tendencia mundial en estos últimos años. (División de Ciencias Ambientales del Laboratorio Nacional de Oak Ridge (Tennessee, 2012, pág. 1)

Otra de las fuentes convencionales<sup>1</sup> de energía eléctrica son las hidroeléctricas, y más en un país con diversos recursos hídricos como Colombia.

“Están en proceso de solicitud de licencia ambiental 10 proyectos de hidroeléctricas, de los cuales 3 están en proceso de licenciamiento (evaluación de impacto ambiental), y 7 en pronunciamiento de DAA<sup>2</sup> (Diagnóstico Ambiental de Alternativas), de los cuales 3 pretenden desarrollarse en área de parques naturales”. (Cruz, 2011, pág. 34)

<sup>1</sup> Fuente convencionales: “Mediante las expresiones energía no renovable o energías convencionales, se alude a fuentes de energía que se encuentran en la naturaleza en cantidades limitadas, las cuales, una vez consumidas en su totalidad, no pueden sustituirse, ya que no existe sistema de producción o de extracción económicamente viable.” (Wikipedia, 2014)

<sup>2</sup> Diagnóstico Ambiental de Alternativas (DAA): “ el objetivo del DAA es el de suministrar la información requerida para evaluar y comparar las diferentes opciones bajo las cuales sea posible desarrollar un proyecto, obra o actividad, con el fin de optimizar y racionalizar el uso de los recursos ambientales y evitar o minimizar los riesgos, efectos e impactos negativos”. (Carvajal, 2012, pág. 7)



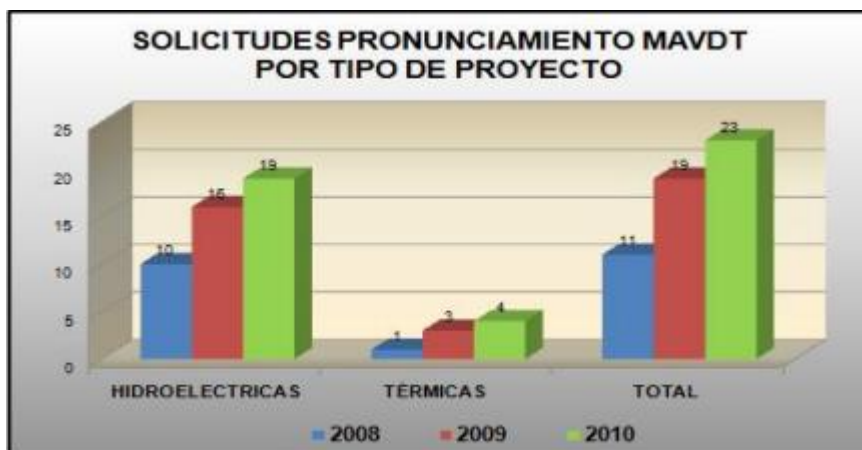


Ilustración 2 : Solicitudes en falta de pronunciamiento del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial (MAVDT). Fuente: (Carvajal, 2012, pág. 16)

En el gráfico (ilustración 2) se puede ver el incremento de solicitudes para proyectos de construcción de plantas hidroeléctricas y térmicas en un intervalo de 3 años, representando una mayor probabilidad de aprobación de las futuras construcciones de estas centrales eléctricas.

La construcción de estas centrales hidroeléctricas, tanto en la fase de construcción como llenado y operación, genera un impacto negativo, en los ecosistemas donde son localizadas, o donde lo serán, causando perjuicios de distinta índole como en el medio físico, socio-económico, ambiental, entre otros.

En la etapa de construcción, por ejemplo, se encuentran impactos sobre el medio físico como lo son: la disminución de caudales de fuentes de agua que van a ser captados para consumo humano e industrial, la afectación físico-química de fuentes de agua por vertimientos de aguas residuales, la alteración de la calidad del aire por incremento en la concentración de material particulado y gases, la potenciación de procesos de inestabilidad, la erosión, tanto en la etapa de construcción de vías como de infraestructura, y la alteración y pérdidas de suelos. (Cruz, 2011, págs. 42-60)

Por otro lado, en la etapa de llenado y operación también se presentan una serie de impactos en el medio físico, como lo son: la afectación de las condiciones batimétricas del embalse, cambio morfológico y degradación del lecho del río agua abajo del sitio de presa, concentración de empalizadas arrastradas por el río en el embalse, generación de inestabilidad y erosión de los taludes<sup>3</sup> del embalse, alteración del régimen de caudales durante el llenado y operación. (Cruz, 2011, págs. 42-60)

Sin embargo, también el medio biótico<sup>4</sup>. Algunos impactos generados en este medio son: la pérdida de cobertura vegetal y ecosistemas por el llenado del embalse, la fragmentación de los ecosistemas, la pérdida y desplazamiento de hábitats de fauna

<sup>3</sup> Taludes: Zona plana inclinada.

<sup>4</sup> Biótico: "hace referencia a lo característico de los seres vivos o que están vinculado a ellos. También es aquello perteneciente o relativo a la biota. (El conjunto de la flora y la fauna de una determinada región)". (Carvajal, 2012, pág. 7)

silvestre, profusión de macrófitas<sup>5</sup> acuáticas, profusión de vectores de enfermedades.

Adicionalmente en el ámbito cultural y socio-económico algunos impactos que se pueden generar son: la pérdida de identidad cultural por el cambio de actividad económica y reubicaciones, pérdida de la conectividad, afectación de las actividades productivas en áreas requeridas del proyecto, afectación de asentamientos temporales y permanentes. (Cruz, 2011, págs. 42-60).

Debido a la relevancia de los impactos que son generados por las fuentes energéticas (hidroeléctrica, combustibles fósiles), se ha creado una conciencia ambiental alrededor del mundo para intentar mitigarlos, ideando métodos para el aprovechamiento energético de los desperdicios. Estos desperdicios también representan un problema ambiental en las ciudades e industrias.

Otras fuentes energéticas alternativas<sup>6</sup> como la energía solar y la energía eólica tienen ciertas limitaciones de territorio y la disponibilidad aleatoria de las condiciones climatológicas, ya que deben prestarse óptimas condiciones de clima para aprovechar de manera adecuada estas fuentes, y presenta limitaciones de ubicación y factores que no son controlables, como el clima.

La biomasa a diferencia de estas, es más flexible de utilizar, y se puede mantener bajo control simplemente identificando un cultivo o una fuente de biomasa residual, estos desechos se pueden utilizar para producir gas que se puede quemar, o en forma líquida la cual se puede guardar en contenedores y transportar hasta el lugar requerido.

“A finales del siglo XX, la biomasa se había convertido en la segunda fuente de energía renovable<sup>7</sup>, para la década de los 90`s los residuos municipales renovables, el biogás y la biomasa líquida reportaron la segunda tasa de crecimiento más alto con un 10.4%, mientras que la biomasa tradicional (sólida y primaria) que representa el mayor aporte a las energías renovables, tuvo un crecimiento del 1.2% anual.” (ACER, 2012, pág. 1)

---

<sup>5</sup> Macrófitas:” Las macrófitas son plantas superiores, algas, musgos y briofitas macroscópicas, adaptadas a la vida en el medio acuático.” (Desarrollo, 2012, pág. 1)

<sup>6</sup>Fuentes energéticas alternativas: “Se denomina energía alternativa, o más propiamente fuentes de energía alternativas, a aquellas fuentes de energía planteadas como alternativa a las tradicionales clásicas. No obstante, no existe consenso respecto a qué tecnologías están englobadas en este concepto, y la definición de "energía alternativa" difiere según los distintos autores: en las definiciones más restrictivas, energía alternativa sería equivalente al concepto de energía renovable o energía verde, mientras que las definiciones más amplias consideran energías alternativas a todas las fuentes de energía que no impliquen la quema de combustibles fósiles (carbón, gas y petróleo); en estas definiciones, además de las renovables, están incluidas la energía nuclear o incluso la hidroeléctrica.” (Wikipedia, 2014)

<sup>7</sup> Energías renovables:” Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Entre las energías renovables se cuentan la eólica, geotérmica, hidroeléctrica, mareomotriz, solar, la biomasa y los biocombustibles.” (Wikipedia, 2014)

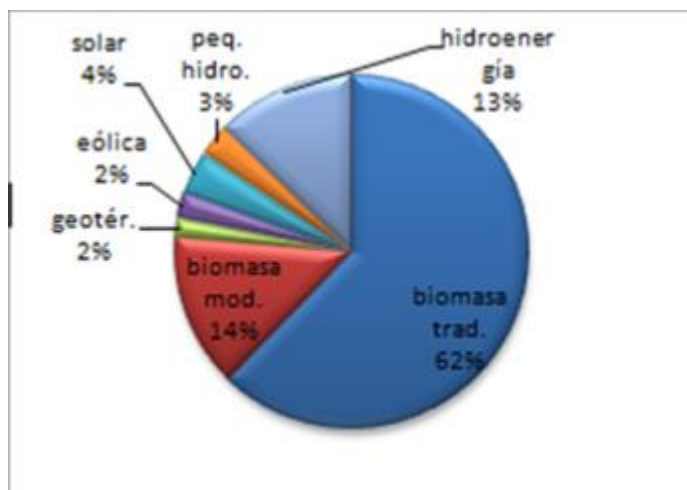


Ilustración 3 : Fuentes de energías renovables a nivel mundial. Fuente: (ACER, 2012, pág. 1)

Actualmente los esfuerzos están centrados en generar fuentes energéticas renovables, para el aprovechamiento energético de desperdicios, como lo es la biomasa, principalmente en el desarrollo de biodiesel<sup>8</sup> y la combustión de la biomasa.

Respecto a la fabricación de biodiesel, el gobierno Colombiano ha implementado estrategias para impulsar su uso.

“A través de la Ley 939/04, el Congreso de la República dispuso la utilización de biocombustibles mezclados con combustible diesel. A partir de allí el Gobierno Nacional ha expedido una serie de normas relacionadas con la calidad del biocombustible (Resolución 180782), con su precio (Resolución 181780 y 120812), y con la posibilidad de que las plantas productoras de biocombustibles puedan acceder al régimen franco.” (FedeBiocombustibles, 2012, pág. 1)

Para la fabricación de biodiesel se requiere una serie de tratamientos de la biomasa. Inicialmente debe extraerse aceite de la biomasa, en el caso de no tener aceite natural residual quemado o grasa animal.

<sup>8</sup> Biodiesel: “es una mezcla de ésteres alquílicos, producido a través de una reacción de transesterificación, entre un aceite vegetal o grasa animal y un alcohol de cadena corta para producir los ésteres respectivos y el subproducto glicerol.” (Helwani, 2009)

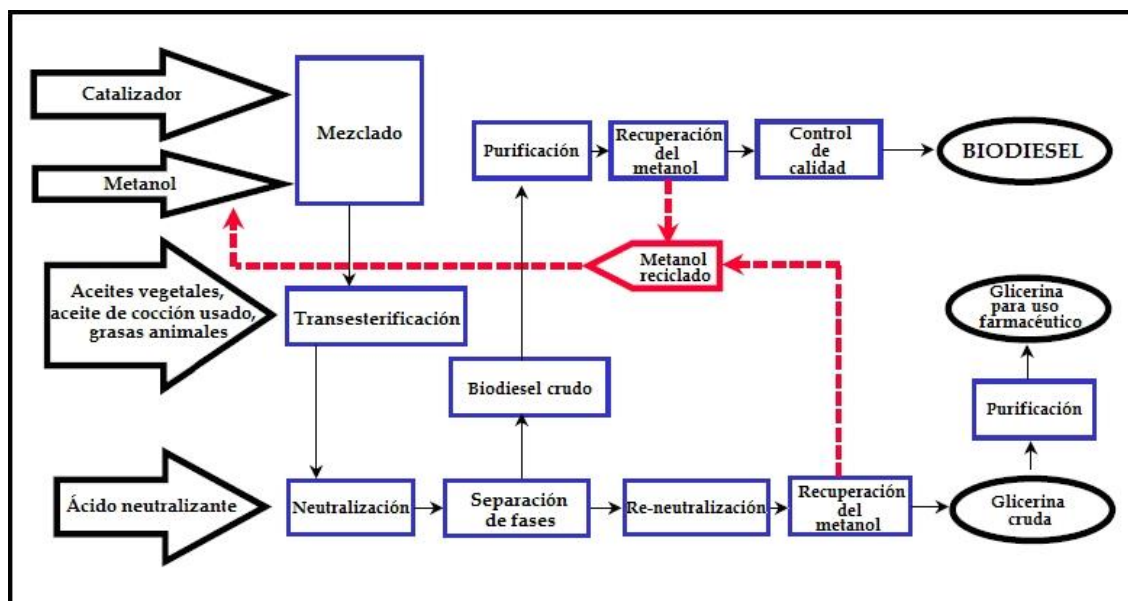


Ilustración 4: Diagrama de Proceso de fabricación de Biodiesel. Fuente: (FedeBiocombustibles, 2012, pág. 1)

Para lograr un aprovechamiento de todo este proceso industrial de fabricación de biodiesel, se requiere de planificación logística para el abastecimiento del aceite o grasa animal, agregando costos a esta alternativa.

Para el caso de contar con extracción de aceite propio, y no se necesite de planificación logística para su abastecimiento, el costo de producción de biodiesel para el caso de la palma de aceite, por ejemplo, se estima entre 0,23 y 0,31 USD/l, dependiendo de la procedencia de la materia prima y del volumen de producción. (Crispin, Felix, & Quintero, 2012, pág. 2)

Adicional a estos costos de producción, se deben tener en cuenta los equipos necesarios para el proceso de fabricación de biodiesel, como mezcladoras y equipos de transferencia térmica para el proceso de transesterificación<sup>9</sup>, decantadores centrífugos y separadores para las fases de lavado y secado, intercambiadores de calor y también columna de destilación para el proceso de pre-tratamiento, y para todos los procesos en general se utiliza reactores, bombas, tanques de agitados y tanques de almacenamiento. (SÁNCHEZ, 2010, pág. 21)

Sin embargo, el otro método de aprovechamiento energético de los desechos biomásicos (combustión de biomasa), resulta de más fácil aplicación y requiere de una inversión menor a la de fabricación de biodiesel. Para el método de aprovechamiento energético por medio de la combustión de biomasa solo se requiere convertir la materia prima (biomasa), en pellets para su fácil manejo, y de equipamiento, solo un digestor que pueda aprovechar la energía resultante de este proceso de combustión.

<sup>9</sup>Transesterificación: Reacción de un aceite vegetal es aquella en la cual, una molécula de triglicérido, componente mayoritario en un aceite, reacciona con un alcohol, generalmente ligero, bajo la acción de un catalizador, para producir una mezcla de ésteres de ácidos grasos y glicerina. (Schuchardt, Sercheli, & Matheus, 1998, pág. 199)

La tecnología e investigaciones en diversos de los países desarrollados están encaminando esfuerzos para el aprovechamiento energético de la biomasa, que se presenta como una alternativa promisoriosa.

La siguiente ilustración (ilustración 5) presenta la producción energética con biomasa generada por los países de la unión europea, los cuales junto con Brasil y EU, han desarrollado una gran capacidad de aprovechamiento de sus residuos biomásicos en millones de toneladas (Mtep):

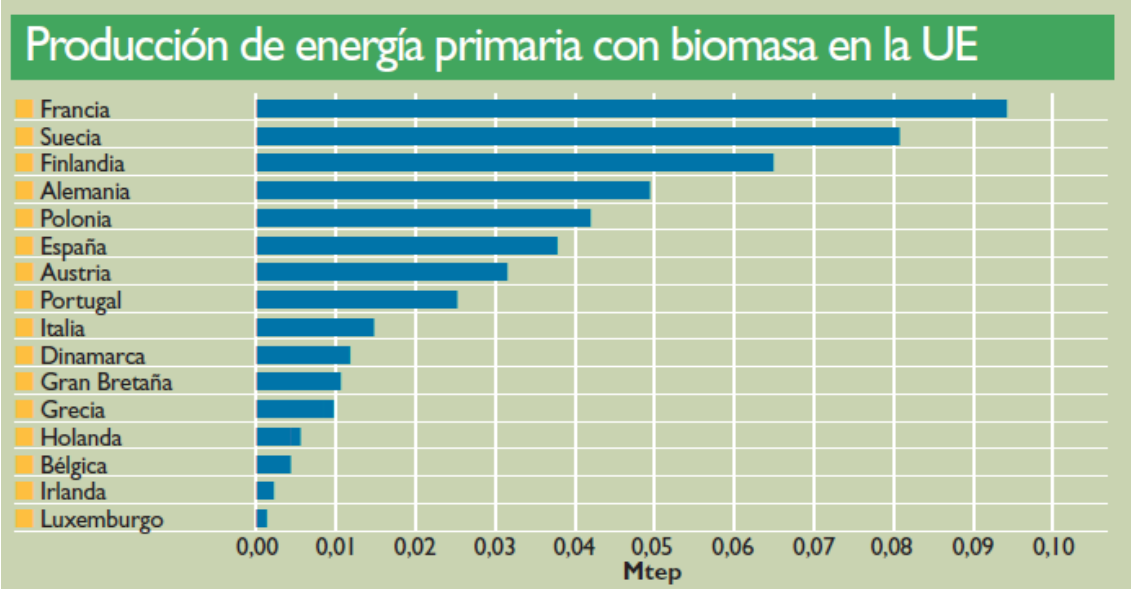


Ilustración 5: Producción de energía con biomasa (millones de toneladas). Fuente: (Fernández, 2003, pág. 6)

En el caso de Colombia en cuanto al aprovechamiento energético de la biomasa, aún es de poco desarrollo, y se le ha dado más importancia a otras fuentes renovables de energía como las hidroeléctricas, sin tener en cuenta todos los perjuicios que estas causan en el ambiental durante su construcción.

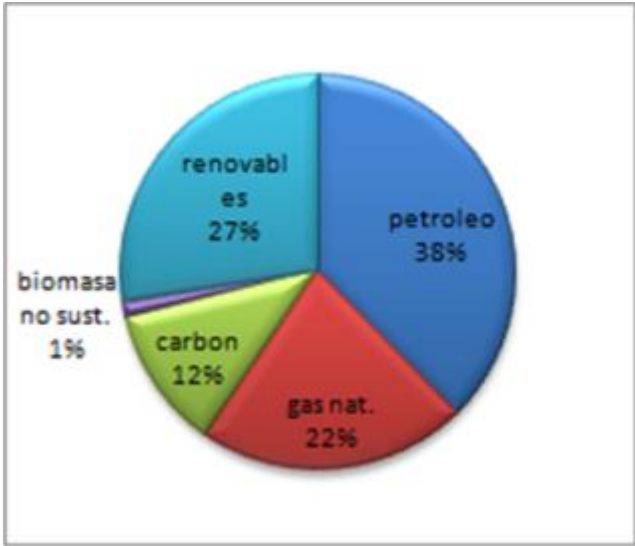


Ilustración 6: Distribución de fuentes de Energía en Colombia. Fuente: (ACER, 2012, pág. 1)

Pero en Colombia la perspectiva de producción energética a partir de biomasa es prometedora, como consecuencia de la elevada actividad agroindustrial que genera gran cantidad de residuos agrícolas, esto representa una oportunidad, pues por su posición geográfica y variedad de climas, ofrece condiciones favorables para el desarrollo de estas actividades”. (ACER, 2012, pág. 1)

Actualmente, en Colombia ya se pueden identificar industrias que generan una cantidad importante de Biomasa residual, producto de los cultivos agrícolas, desechos del sector pecuario y residuos urbanos. Todos estos residuos pueden generar un poder calórico el cual puede aprovecharse:

Tabla 1: Poder calórico inferior para biomasa residual en Colombia. Fuente: (Hernández, Prada, Lesmes, Ruiz, & Ortega, 2010, pág. 124)

Sector	Fuente de biomasa	Tipo de residuo	PCI (Kcal/kg)
Agrícola	Palma de aceite	Cuesco	3.988
		Fibra	4.274
		Raquis	4.021
	Caña de azúcar	Rac	3.684
		Bagazo	4.456
	Caña de panela	Bagazo	4.456
		Hojas secas	4.007
		Rac	3.684
	Café	Pulpa	4.259
		Cisco	4.430
		Tallos	4.384
	Maíz	Rastrojo	3.429
		Tusa	3.390
		Capacho	3.815
	Arroz	Hojas secas	4.274
		Tamo	3.113
		Cascarilla	3.603
	Banano	Raquis	1.809
Vástago		2.032	
Rechazo		2.488	
Plátano	Raquis	1.808	
	Vástago	2.032	
Pecuario	Avícola	Ponedoras	2.248
		Engorde	3.645
	Bovino	Leche	2.801
		Doble propósito	3.680
	Porcino	Carne	3.783
		Tecnificado	6.049
Residuos sólidos urbanos	Plaza de mercado	No tecnificado	4.163
		Sólido orgánico	3.772
	Centro de acopio	Sólido orgánico	3.772
Poda	Sólido orgánico	3.772	

Se pueden identificar (Tabla 1) ,4 sectores en que todos los tipos de residuos que generan tienen un poder calórico cercano a los 4000 Kcal/kg, siendo los desechos de estas industrias los de mayor PCI, lo cual permite un mayor aprovechamiento energético respecto a los de otras industrias, en las que sus desechos están por debajo de los 4000 Kcal/kg.

Estas cuatro industrias son: Palma de aceite, caña de azúcar, caña de panela y la industria del café. Además estos residuos se pueden aprovechar con tratamientos

Termoquímicos por sus características de baja humedad (contenido de humedad inferior al 50%). (Hernández, Prada, Lesmes, Ruiz, & Ortega, 2010, pág. 139)

Este proyecto trabajara el sector industrial de la palma de aceite, debido al múltiple uso de sus desechos biomásicos, que se pueden utilizar tanto para aprovechamiento energético directo y fabricación de biodiesel, lo cual presenta una oportunidad de crecimiento de un sector que está consolidado en Colombia.

“La palma de aceite es una de las oleaginosas comerciales más productivas del planeta. De ella se extrae entre seis y diez veces más aceite que de las otras (soya, colza y girasol). Colombia cuenta con más de 300.000 hectáreas sembradas en palma de aceite, lo cual permite generar una gran riqueza para el país que se manifiesta entre otras, en empleo permanente y estable para más de 90.000 personas.” (FedeBiocombustibles, 2012, pág. 1)

Debido a esto, los gobiernos de otros países como Holanda, están buscando eliminar aranceles para poder comerciar con este producto, en busca de fuentes sostenibles. Lo cual representa una oportunidad de crecimiento de esta industria.

“Los productores y exportadores de aceite de palma aumentarían su participación en el mercado europeo el próximo año si la Junta holandesa de margarinas, aceites y grasas (MVO) logra obtener el apoyo de los Estados miembros de la Unión Europea para abolir el impuesto de importación de aceite de palma sostenible. El MVO tiene una fuerte motivación para eliminar este impuesto, actualmente del 3,8%, debido a que se ha comprometido a garantizar que la totalidad de sus importaciones de aceite de palma provendrán de fuentes certificadas como sostenibles para el 2015.” (FedeBiocombustibles, 2012, pág. 1)

Tabla 2: Potencial energético departamental para la biomasa residual de palma de aceite. Fuente: (Hernández, Prada, Lesmes, Ruiz, & Ortega, 2010, pág. 161)

Departamento	Área	Producción	Cantidad	Potencial
--------------	------	------------	----------	-----------



	sembrada	de		energético
	(ha)	(t producto/año)	residuo	(TJ/año)
Antioquia	354	4.442	8.417	81,20
Bolívar	6.760	15.952	30.365	292,91
Caquetá	385	539	1.026	9,90
Cesar	33.830	110.449	210.240	2.028,04
Córdoba	154	262	499	4,81
Cundinamarca	3.189	13.713	26.102	251,79
Chocó	3.234	21.021	40.013	385,98
La Guajira	395	737	1.403	13,53
Magdalena	30.167	104.104	198.161	1.911,53
Meta	80.097	219.993	418.757	4.039,48
Nariño	32.000	153.600	292.378	2.820,38
Norte de Santander	5.123	12.819	24.400	235,37
Santander	49.006	185.257	352.636	3.401,65
Sucre	250	1.500	2.855	27,54
Casanare	15.652	27.750	52.822	509,54
<b>TOTAL</b>	<b>260.596</b>	<b>872.116</b>	<b>1.660.074</b>	<b>16.013,65</b>

Según la tabla 2, el departamento que mayor potencial energético tiene con base en la biomasa residual de la palma de aceite, es el Meta, por lo cual se puede identificar una prometedora alternativa en la producción energética con esta clase de biomasa. Así mismo es el departamento que mayor producción tienen al año, generando así suficientes residuos que pueden ser utilizados para el mismo beneficio de esta industria.

Se puede identificar en la tabla 1 también, una gran oportunidad de aprovechamiento energético en La industria Porcina, pues los desechos generan un PCI superior a los 4000 Kcal/kg. Sin embargo estos residuos son de tipo húmedo, su contenido de humedad es superior al 50%, para el sector bovino sus valores oscilan entre 71,09% y 88,96% (Hernández, Prada, Lesmes, Ruiz, & Ortega, 2010, pág. 139)), por lo cual necesitan tratamientos Bioquímicos para su aprovechamiento energético, y este tipo de tratamientos son más complejos y costosos que los tratamientos Termoquímicos.

Los tratamientos Bioquímicos (fermentación alcohólica, hidrólisis mejorada, Torrefacción) requieren una mayor cantidad de equipos, inversión y un pre-tratamiento más extenso para su posterior uso energético. Algunos de los procesos necesarios para el desarrollo estos tratamientos son: Hidrólisis<sup>10</sup>, Fermentación<sup>11</sup>, Destilación<sup>12</sup>, entre otros. Además, estos tratamientos bioquímicos se utilizan más que todo para la obtención de biocombustibles. (Damien, 2010, pág. 163)

<sup>10</sup> Hidrólisis: "Descomposición de sustancias orgánicas e inorgánicas complejas en otras más sencillas por acción de agua." (WordReference, 2012)

<sup>11</sup> Fermentación: "Proceso químico por el que se forman los alcoholes y ácidos orgánicos a partir de los azúcares por medio de los fermentos." (WordReference, 2012)

<sup>12</sup> Destilación: "Separación por medio de calor de una sustancia volátil de otras más fijas." (WordReference, 2012)

Por lo cual se utilizará la palma de aceite, debido que puede ser aprovechada por medio de sistemas termoquímicos con mayor facilidad de adaptación.

Los procesos termoquímicos en condiciones controladas de temperatura y presión, pueden romper la estructura de la biomasa y convertirla en compuestos gaseosos, líquidos y sólidos más adecuados para la aplicación que se desee, “este proceso debido al alto nivel tecnológico alcanzado, está substituyendo a la combustión directa.” (Hernández, Prada, Lesmes, Ruiz, & Ortega, 2010, pág. 125)

Las tecnologías de combustión directa van desde sistemas simples como estufas, hornos y caldera, hasta sofisticados equipos para combustión de lecho fluidizado<sup>13</sup>, la eficiencia de estos procesos oscila alrededor del 60 %. (Hernández, Prada, Lesmes, Ruiz, & Ortega, 2010, pág. 126)

Otro de los procesos termoquímicos para el aprovechamiento energético de la biomasa, es la gasificación, y esta opción ofrece ventajas sobre la combustión directa, debido que el biogás producido por el proceso puede ser limpiado y filtrado para remover componentes químicos no deseados, y además tiene flexibilidad de adaptarse con sistemas más eficientes (de tipo combinado), este procedimiento tiene eficiencias que oscilan por encima del 60%, los sistemas gasificadores pueden ser acoplados con celdas de combustible para la producción simultánea de calor y electricidad. (Hernández, Prada, Lesmes, Ruiz, & Ortega, 2010, pág. 126)

El estado del arte de la gasificación para la generación de energía usando biomasa como combustible se puede aplicar en general como todos los ciclos que se aplican con otros combustibles.

“En ciclos de Rankine (calderas de vapor y turbinas acopladas a un alternador) existen ciertas limitaciones en cuanto a la temperatura y presión a la que se quiera generar el vapor, debido a que la mayoría de las biomasa solidas contienen una determinada fracción de cenizas que se pueden fundir dentro de la cámara de combustión y depositarse, formando costras, sobre los tubos de vapor.

De forma no estricta, se puede decir que se pueden plantear sistemas de generación con biomasa sólida a partir de 1 ó 2 MW. No obstante este límite se puede reducir si se integra un sistema de gasificación, pues entonces se pueden emplear tecnologías disponibles para gases y no hacerse necesaria una caldera de vapor que alimente a la turbina.

Para la producción combinada de calor/frío y electricidad en pequeñas potencias está cobrando auge en paralelo con el desarrollo tecnológico que permite emplear combustibles sólidos, líquidos o gaseosos de origen biomásico, con una fiabilidad y rendimiento notorios.

Micro turbinas de gas, MACIs<sup>14</sup> especialmente diseñados para biogás, o motores Stirling integrados en calderas de biomasa, permiten generar electricidad además de calor, en unos rangos de potencia lo suficientemente

---

<sup>13</sup> Combustión en lecho fluidizado: consiste en desarrollar la combustión en el seno de una masa de suspensión de: partículas de combustible, cenizas y, a veces, un inerte, los cuales son fluidizados por una corriente de aire de combustión ascensional. (Romero, 2012, pág. 123)

<sup>14</sup> MACIs: Motores de combustión interna

pequeños para que se pueden integrar en edificios u otros sistemas consumidores, de forma técnica y económicamente viable.” (BESEL, 2007, pág. 9)

Existe igualmente tecnología en el mercado para realizar pequeñas producciones de energía, después de una indagación de estas tecnologías por internet, se encontraron varias plantas gasificadoras a nivel mundial, pero en su mayoría son grandes empresas que tienen una alta rentabilidad y pueden soportar financieramente el costo de la investigación y desarrollo de sus propias plantas gasificadoras, esto quiere decir que en realidad no están a la venta, solo las muestran por medios como internet para evidenciar los esfuerzos que realizan para minimizar el impacto al medio ambiente y clasificarlas como empresas comprometidas con esta problemática.

Los otros montajes de re-utilización biomásica que se pueden encontrar son investigaciones y están desarrolladas por universidades, que lo hacen exclusivamente con fines académicos e investigativos, por lo cual no ofrecen estos equipos ni los montajes de manera comercial.

Se identificó de todas estas posibilidades anteriormente mencionadas solo una planta que puede ser viable para aprovechar los residuos del proceso de la palma de aceite, y se vende y exporta de manera comercial y está abierta a todo el mundo, esta planta es fabricada por la empresa ALL POWER LABS.

Sus gasificadores experimentales llamados Power Plant se encuentran en 30 países y prestan soporte a más de 45 universidades, lo cual indica una experticia y gran desarrollo de sus gasificadores. Esta empresa reunió esfuerzos para crear un sistema que aprovechara cada elemento generado por este, como lo es la energía térmica generada por el motor, o un porcentaje de las cenizas generadas o el calor sobrante generado por el biogás (debido que en cualquier proceso de gasificación se debe enfriar este biogás que sale inicialmente a temperaturas demasiado altas para que entren en un motor).

Esta propiedad de recolectar y re-utilizar energías térmicas y residuos de proceso le da a Power Plant un factor diferenciador sobre el resto de plantas, las cuales en su mayoría dejan disipar los calores generados por el motor y otros componentes, de esa manera desaprovechando una fuente energética que puede apoyar en la gasificación, el cual a través de sus procesos consume bastante de esta energía térmica.

Algunas de las características básicas de la planta gasificadora son:

**Tabla 3: Especificaciones de planta gasificadora empresa All power Labs. Fuente: (Labs A. P., 2014)**

<b>Especificación</b>	<b>Valor</b>
Salida de poder	5 – 20 kWh
Consumo de biomasa	22 kg / 50 lbs. por hora a 20 kWh
Tolerancia a la humedad de combustible	Hasta un 30%
Dimensiones	1,2m x 1,3m 1,8m

Peso	658 kg / 1450 lbs.
------	--------------------

Se propone entonces esta planta gasificadora generadora de electricidad como alternativa para el aprovechamiento de residuos. El consumo de biomasa que necesita por hora esta planta es de 22 kg, por eso para la viabilidad del proyecto se necesitan industrias que puedan generar esta cantidad de desechos por hora, para utilizarlos.

Para una mayor viabilidad de implementación, se tendrán en cuenta empresas medianas que tienen dicha capacidad de generación de residuos biomásicos.

Se logró la identificación de una empresa con dichas características, en el departamento y del sector industrial en cual se aclaró anteriormente que va a trabajar este proyecto, esta empresa está dispuesta a prestar la información pertinente para el desarrollo de la investigación.

Debido que esta empresa no quiere prestar su nombre, por cuestiones de confidencialidad, se va a utilizar un nombre ficticio para referirse a dicha empresa: "Palma de Aceite del Meta", para simplificar su constante nombramiento, el proyecto se referirá a ella como PAM.

## 1.1 FORMULACIÓN:

De acuerdo con la problemática ambiental anteriormente descrita, y las alternativas presentadas, surge el siguiente planteamiento:

¿Es técnica y financieramente viable, implementar una planta gasificadora generadora de electricidad, que utiliza como combustible, biomasa residual, en las medianas empresas de la industria de palma de aceite en el departamento del Meta, tomando a la empresa PAM como objeto de estudio?

## 2 ALCANCE:

- El alcance de este proyecto será el estudio de factibilidad técnica y financiera, de implementación de tecnología de aprovechamiento biomásico en las empresas de características similares del sector palmero, tomando como objeto de estudio una empresa de este sector.
- Desarrollar un proceso de implementación general, en el caso de que sea factible hacerlo, para todas las industrias de palma de aceite en Colombia que tengan las características similares, a la empresa que fue tomada como referencia.
- Presentar otras características que influyen en la decisión como: consumo energético, capacidad instalada, recursos económicos y capacidad de generación biomásica.

- Analizar otros impactos que genera la implementación de la propuesta, independiente si es factible financieramente, como: aprovechamiento de sus propios residuos biomásicos generados y mitigar el impacto de las fuentes energéticas no renovables para preservar el ambiente.

### 3 OBJETIVOS:

#### 3.1 General:

- Realizar un estudio de factibilidad<sup>15</sup> técnica y financiera, de la implementación de una planta de generación eléctrica con base en biomasa residual, en la empresa “Palma de aceite del Meta” (PAM)<sup>16</sup>, la cual se ha tomado como referencia para el estudio.

#### 3.2 Específicos:

- Diseñar procedimientos de recolección y re-utilización de los desperdicios biomásicos de la palma de aceite para su aprovechamiento energético.
- Analizar la viabilidad (estudio técnico) de implementar la planta propuesta en la empresa “PAM”, partiendo de la situación actual.
- Formular y evaluar alternativas de manejo e instalación del equipo propuesto en la empresa “Palma de Aceite del Meta” (PAM).
- Analizar y cuantificar los costos y beneficios de la implementación de la planta en la empresa “Palma de Aceite del Meta” (PAM).

### 4 JUSTIFICACIÓN:

Este proyecto representa una alternativa viable a los inconvenientes que ha venido generando el uso de recursos no renovables para la obtención de energía, incluyendo el impacto ambiental negativo que ha dejado la extracción de estos recursos.

---

<sup>15</sup> Estudio de Factibilidad: “Análisis comprensivo que sirve para recopilar datos relevantes sobre el desarrollo de un proyecto y en base a ello, tomar la mejor decisión, y si se procede a su estudio, desarrollo o implementación.” (Acevedo, Ariza, & Barrios, 2012, pág. 2)

<sup>16</sup> Es un nombre ficticio de la empresa que se tomara como ejemplo para el estudio de factibilidad. (Razón: mantener confidencialidad de la información)

Adicionalmente ofrece una alternativa para las medianas industrias Colombianas que generan desperdicios biomásicos, pues con este sistema de energía a base de biomasa, pueden generar su propio suministro eléctrico

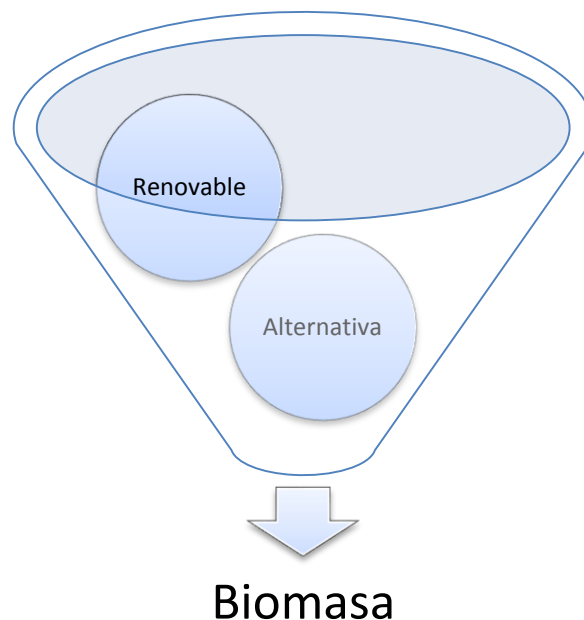
Por medio de la gasificación de dichos desechos para generar biogás o “SynGas”, el cual puede quemarse en motores de combustión interna o turbinas, y este convertirá la energía mecánica en energía eléctrica por medio de un generador de corriente alterna.

Complementando este sistema con los existentes en la planta actual (PAM), se logra reducir los costos de producción en un porcentaje que será tema de investigación dentro del presente trabajo.

A nivel Social, este proyecto representa un aporte desde varias perspectivas, como para la industria y el ambiente, generando alternativas para la conservación de los ecosistemas y el planeta, creando conciencia en las personas, de que los desechos pueden aprovecharse.

## 5 MARCO TEÓRICO:

### 5.1 Biomasa:



La biomasa puede clasificarse dentro de varios tipos de energía, entre las primeras de ellas está la que es renovable, por su carácter virtual de ser inagotable, o mejor dicho, que puede regenerarse por medios naturales.

Se podría clasificar también como alternativa ya que dentro de la mayoría de definiciones, toda aquella fuente energética que no se clasifique como tradicionales. Dentro de estas fuentes clásicas de energía se encuentra la quema de combustible fósiles como el petróleo o gas. Debido a que la biomasa no consume ningún combustible fósil para su aprovechamiento energético es una fuente renovable.

Es importante aclarar que la biomasa, así mismo como la gran mayoría de las fuentes energéticas, no puede ser considerada más limpia, porque para su aprovechamiento por cualquier método, uno de los gases resultantes es CO<sub>2</sub>, lo cual no la hace totalmente limpia, sin embargo es mucho menos contaminante que otras fuentes energéticas. Aunque por la definición de energía limpia<sup>17</sup> en teoría entraría dentro de esta categoría.

“Biomasa es la materia viva presente en una capa muy fina de la superficie terrestre llamada biosfera, la cual representa una fracción muy pequeña de la masa terrestre. Los residuos que se generan a partir de los procesos de transformación natural o artificial de la materia viva, también se constituyen en biomasa.” (Hernández, Prada, Lesmes, Ruiz, & Ortega, 2010, pág. 118)

La biomasa está compuesta principalmente de carbón, oxígeno, hidrógeno y pequeñas fracciones de elementos minerales como potasio, fósforo, sulfuro y otras. (Estrada & Meneses, Gasificación de Biomasa para producción de combustibles de bajo poder calorífico y su utilización en generación de potencia y calor, 2004, pág. 156)

Tiene carácter de energía renovable ya que su contenido energético procede en última instancia de la energía solar fijada por los vegetales en el proceso fotosintético. Esta energía se libera al romper los enlaces de los compuestos orgánicos en el proceso de combustión (u otros métodos), dando como productos finales dióxido de carbono, agua y calor. (Fernández, 2003, pág. 2)

El uso de biomasa para fines energéticos representa unas ciertas ventajas ambientales, como permitir la introducción de cultivos de alta rotación puede provocar un incremento en el sector agrícola el cual ocupa un importante porcentaje en la economía colombiana, disminuye la dependencia de combustibles que se generan a base de recursos no renovables.

También su uso representa una disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>, aunque este procedimiento se haga básicamente por medio de una combustión total o parcial, y el resultado de esta sea agua y CO<sub>2</sub>, la cantidad de este gas causante del efecto invernadero, se puede considerar que es similar a la que absorben las plantas para

---

<sup>17</sup> Energía limpia: En toda la bibliografía consultada, la energía limpia es sinónimo de energía renovable. Ósea fuentes energéticas que no consumen recursos agotables para su producción energética. Otros autores la definen como las fuentes que tienen un menor impacto sobre el medio ambiente.

su crecimiento, por lo cual no impacta de manera negativa, porque no supone un incremento de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. (Robaina & Reyes, 2012, pág. 1)

Aunque representa varias ventajas ambientales, también se deben considerar sus desventajas frente a otros sistemas de generación de energía popularmente utilizados.

Entre ellos se deben considerar: Menor rendimiento energético comparado con combustibles como el fósil, la biomasa está calificada como materia prima de baja densidad energética, por lo cual se requiere de un gran volumen para un buen suministro energético, esto acarrea problemas logísticos, así como de costos de transporte y almacenamiento.

Como fuentes de biomasa para la obtención de la energía se pueden considerar (Fernández, 2003, pág. 12):

- **Biomasa Natural:** Refiere a la leña procedente de los árboles crecidos de manera espontánea, es decir, que no fueron cultivados. Tradicionalmente en la historia del hombre, esta ha sido utilizada para calentarse y cocinar, funciones que se logran por el desprendimiento de enlaces que genera su combustión. Sin embargo existe un inconveniente ya que para su aprovechamiento masivo podría conllevar a la destrucción de los ecosistemas que lo producen. Aunque se pueden aprovechar los residuos de las partes muertas o restos de podas.
- **Biomasa Residual:** Es la resultante de cualquier proceso donde se consume biomasa. Se produce en explotaciones agrícolas, forestales o ganaderas, así como los residuos generados por núcleos urbanos e industrias. En principio no es tan atractivo en el aprovechamiento de energía, debido a la poca energía que producen, pero es una forma de crear energía muy viable para instalaciones que generan demasiados de estos residuos como granjas, industrias, papeleras o depuradores urbanos.

**Cultivos Energéticos:** Estos son cultivos que son sembrados con la finalidad de producir biomasa que pueda ser transformada en biocombustibles, en varios países se ha empezado a producir este tipo de cultivos como Brasil y Estados Unidos, que enfocan la producción de caña de azúcar y maíz, para la obtención de bio-etanol.

## 5.2 Técnicas de aprovechamiento energético de la biomasa

Existen distintas maneras de aprovechar la biomasa como se ilustra en la tabla 4

**Tabla 4:** Esquema de las distintas técnicas de utilización de biomasa con sus respectivos rangos de temperatura y composición del gas combustible producido. **Fuente:** (Estrada & Meneses, **Gasificación de Biomasa para**



Técnica de conversión	Rango de temperatura	Presión	Principales productos resultantes
Combustión	800 - 1200 °C	Atmosférica - Alta	Calor, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O
Pirólisis	400 – 800 °C	Atmosférica - Alta	Carbón, aceite, gas
Gasificación	650 – 1100 °C	Atmosférica - Alta	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CO
Mejora hidrotermal	250 – 600 °C	Muy Alta	Aceite, Carbón, Gas, CO <sub>2</sub>
Fermentación aeróbica	<< 100 °C	Atmosférica	Etanol, CO <sub>2</sub>
Fermentación Anaeróbica	<< 100 °C	Atmosférica	CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> O

Como parte de este marco teórico se explicara las técnicas termoquímicas las cuales son: combustión, pirólisis y gasificación. Realizando énfasis en la gasificación debido que la planta propuesta tiene realiza este proceso.

El proceso de aprovechamiento más sencillo es la combustión completa o incineración, esto resulta aconsejable con residuos naturales o forestales, pero también se puede utilizar para residuos agrícolas y la fracción combustible de los residuos sólidos urbanos.

Un factor de importancia que representa un limitante es la humedad de la biomasa, para un rendimiento máximo de este proceso se debe utilizar materiales secos. (Román, 1985, pág. 229) La combustión es utilizada por la energía térmica resultante, que puede servir desde la simple tarea de calentar, hasta convertirla en trabajo.

La siguiente técnica de aprovechamiento de la biomasa es la pirólisis, la cual es una degradación o volatilización de la biomasa en ausencia de oxígeno y aire. (Gómez, Klose, & Rincón, Pirólisis de biomasa, 2008, pág. 11) Se pueden conseguir varios resultados dependiendo de la variación de los parámetros del proceso como: el tipo de biomasa, la temperatura máxima, las condiciones de la atmósfera de reacción, la tasa de calentamiento y el tiempo de permanencia de los productos en el reactor.

Después de la pirólisis, queda como resultante carbón, este puede ser utilizado como combustible en procesos industriales, en el hogar para la cocción de alimentos o como materia prima para la producción de carbón activado.

Otro producto resultante es gas (mezcla de monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogeno e hidrocarburos ligeros), el cual se utiliza para la generación de energía mecánica y térmica o puede ser sintetizado para la producción de otros productos químicos. Y el último resultante es el producto líquido, o aceite como se referencia en la tabla (4), pero también puede ser identificado como condensado o bio-aceite, puede ser utilizado para la generación de combustible con un alto nivel de

hidrocarburos, para su combustión en motores y en la generación de energía mecánica y térmica.

Esta transformación termoquímica se realiza en atmósferas inertes con el uso de gases como nitrógeno, helio o argón, pero cuando se realiza para fines de investigación. A nivel industrial no siempre se realiza esta pirólisis en atmósferas inertes.

Cabe aclarar que la pirólisis es un proceso fundamental para otras técnicas de aprovechamiento de biomasa como la gasificación, esta importancia radica en que se debe llevar a cabo la pirólisis como proceso inicial, para disponer de sus resultantes y utilizarlos en algunos procesos posteriormente.

La última técnica, es la gasificación, y esta es en la cual se va profundizar más por temas del proyecto. Debido a la planta gasificadora comercial que se encontró y se propuso para el estudio de factibilidad.

La gasificación ha sido utilizada desde hace más de 100 años, los principios básicos de esta técnica fueron conocidos a finales del siglo XVIII, pero de sus primeros usos comerciales se conocen desde 1850, cuando se utilizaba la gasificación de la biomasa para las lámparas del alumbrado público de Londres (Turns, 2000, pág. 45).

Pero tiempo después con el surgimiento de los combustibles fósiles y la explosión de pozos petroleros, este tipo de tecnologías quedaron rezagadas. Actualmente la crisis energética y los daños ambientales, han disparado el interés en este tipo de energía alternativa.

En esencia la gasificación es el proceso de conversión de la biomasa sólida en un gas combustible, que contiene monóxido de carbono e hidrogeno principalmente por medio de un proceso termoquímico<sup>18</sup>.

“Este proceso se cumple en una cámara cerrada y sellada que opera por debajo de la presión atmosférica. El gas combustible producido en un proceso de gasificación de biomasa posee un poder calorífico que fluctúa entre 2.7 y 5.1 MJ/m<sup>3</sup>, lo que hace que este combustible entre en la clasificación de combustibles de bajo poder calorífico” (Estrada & Meneses, Gasificación de biomasa para producción de combustible de bajo poder calorífico y su utilización en generación de potencia y calor, 2004, pág. 5)

La gasificación utiliza una variedad de agentes gasificantes como el aire, el oxígeno, vapor de agua y/o oxígeno, e hidrógeno. Depende del rendimiento deseado y de los intereses el uso de cada uno de estos agentes como se muestra en la tabla 5:

**Tabla 5: Caracterización de agente Gasificantes. Fuente: (Robaina & Reyes, 2012, pág. 1)**

---

<sup>18</sup> Proceso termoquímico: Es aquel en el que la biomasa es transformada a través de distintos procesos de oxidación, bajo algunas condiciones de presión y temperatura, que permiten obtener de la biomasa, combustible sólido, líquido o gaseoso dependiendo del proceso utilizado. (México, 2014)

Agente Gasificador	Características
Aire	La combustión parcial de este da lugar a una reacción exotérmica cuyo producto puede ser aprovechado con fines energéticos
Oxígeno	Su combustión produce un gas de poder calorífico medio, de mayor calidad al no estar diluido con N <sub>2</sub> . Además de su uso energético puede sintetizarse para la obtención de gas metanol
Vapor de agua y/o oxígeno (aire)	Su gasificación produce un gas enriquecedor en H <sub>2</sub> y CO que puede utilizarse como gas de síntesis para compuestos como amoníaco, metanol, gasolinas, etc.
Hidrógeno	Produce un gas de alto contenido energético, que al tener altos porcentajes de metano, puede ser un sustituto del gas natural.

Este proceso se lleva a cabo en diferentes etapas:

- Secado: En este proceso se remueve toda el agua que está en la biomasa, llevándola a una temperatura superior a los 100°C.
- Pirólisis: Como se mencionó anteriormente, este proceso hace parte de todo el macro proceso de gasificación, acá la biomasa experimenta una descomposición térmica en ausencia de oxígeno.
- Oxidación/combustión: Es introducido aire a la cámara donde se lleva a cabo el proceso, además del oxígeno y del vapor de agua, también son adicionados algunos gases inertes. Esta oxidación se realiza entre los 1000°C-1200°C.
- Reducción: En esta zona de reducción, se presentan numerosas reacciones químicas en altas temperaturas, obteniendo como resultantes CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO.

Para entender mejor este proceso se presenta el diagrama de bloques a continuación:

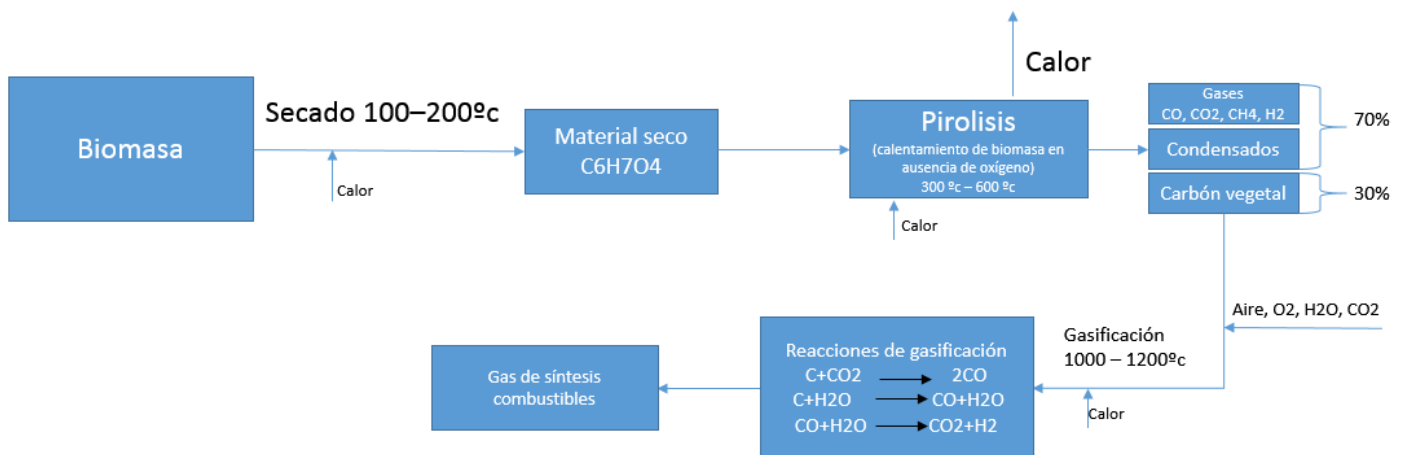


Ilustración 7: Diagrama de bloques proceso de Termoquímico de la gasificación (Rubio, Sierra, & Guerrero, 2011)

Este proceso de gasificación se lleva a cabo al interior de dispositivos conocidos como gasificadores, los cuales tienen forma cilíndrica y son diseñados especialmente para este propósito; son identificados por el tipo de combustible sólido que utilizan y a la manera de ingresar del aire y el combustible al mismo tiempo produciendo la reacción deseada. Los tipos más importantes de gasificadores son:

- Gasificador Updraft:

“Este gasificador tipo updraft tiene bien diferenciadas las zonas de combustión parcial, reducción y pirólisis. El aire es depuesto<sup>19</sup> a la parte baja de este gasificador, y este circula en contra corriente. El combustible es entregado en la superior a unas temperaturas relativamente bajas; Ya que, el calor sensible dispuesto por el gas es utilizado para precalentar y secar el combustible, con ello se pueden lograr altas eficiencias.” (Estrada & Meneses, Gasificación de Biomasa para producción de combustibles de bajo poder calorífico y su utilización en generación de potencia y calor, 2004, pág. 4)

Las desventajas que presenta este sistema son el alto contenido de alquitrán del gas producido y la limitante de capacidad que tiene en su carga, lo que no permite la generación de gas continuo, y dificulta la utilización de este tipo de gasificador en motores de combustión interna, también se pueden generar fugas de oxígeno y situaciones explosivas de alto riesgo.

<sup>19</sup> Depuesto: Bajado del lugar donde se encuentra.

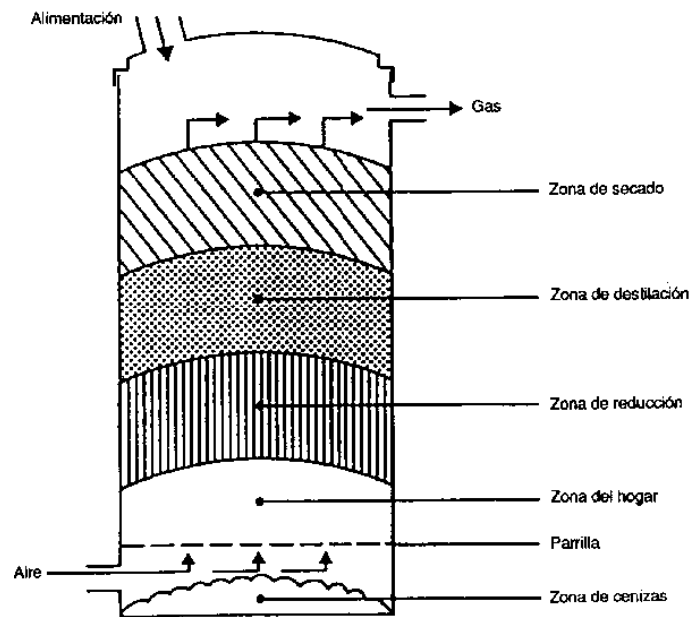


Ilustración 8: Gasificador Updraft. Fuente: (Robaina & Reyes, 2012, pág. 1)

- Gasificador Downdraft:

Con este tipo de gasificador se soluciona el problema que genera el updraft del arrastre de alquitrán con la corriente de gas, sin embargo en la práctica es complicado lograr un gas libre de alquitranes. En el Downdraft, el aire entra por la zona de oxidación del gasificador (parte media), o por encima de esta, y el gas combustible es entregado por la parte baja del gasificador.

Al tener un flujo hacia la parte de abajo, los productos ácidos y los alquitranes procedentes del combustible, deben pasar a través de una capa incandescente de carbón vegetal, lo que permite transformarlos en gases permanentes de hidrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono y metano.

Las dificultades presentadas por este tipo de gasificador son el contenido de ceniza y humedad del gas producido, también el tiempo prolongado que requiere para su encendido, que puede estar en un rango de 20-30 minutos.

Otro inconveniente a tener en cuenta en este tipo de gasificadores es la dificultad de funcionar, particularmente los materiales blandos y de baja densidad ocasionan problemas de circulación y una pérdida excesiva de presión (Robaina & Reyes, 2012, pág. 1), por eso los combustibles sólidos tienen que ser tratados previamente y convertirlos en gránulos o briquetas para hacer uso de ellos. En comparación con el Updraft, este gasificador tiene una eficiencia algo inferior, este se debe a la falta de intercambio interno de calor y al menor valor calorífico del gas resultante, los gasificadores tipo Downdraft no son recomendables para cuando se requieren de potencias superiores a los 350 kW.

Pero también presenta algunas ventajas, el Downdraft es más aceptable para aplicaciones de motores de combustión interna y turbinas de gas, y gracias a su menor contenido de componentes líquidos condensados, estos gasificadores presentan menos objeciones ambientales respecto al updraft.

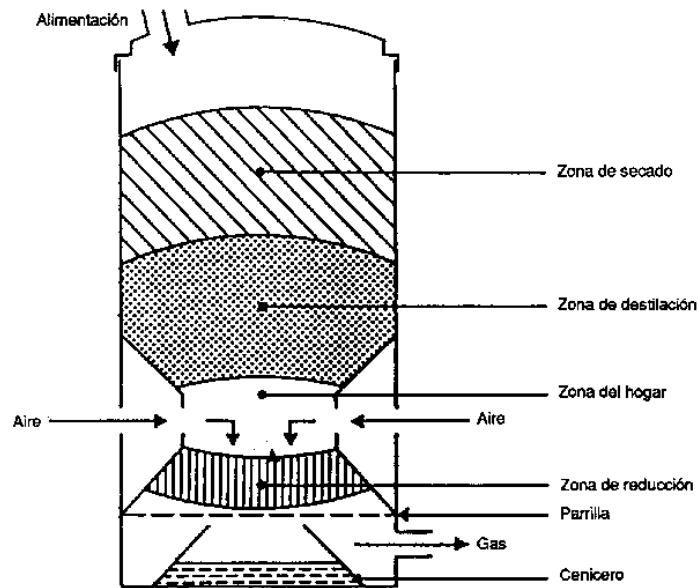


Ilustración 9: Gasificador tipo Downdraft. Fuente: (Robaina & Reyes, 2012, pág. 1)

- Gasificador Crossdraft:

Sigue los mismos pasos básicos que los demás gasificadores, pero la entrada de aire y la salida de gas combustible se realizan en la parte media del gasificador, el Crossdraft tiene unas ventajas significativas sobre los gasificadores Updraft y Downdraft, como lo es el tiempo de arranque, el cual es de aproximadamente 5 minutos en este tipo, también la capacidad de operar con combustibles secos o húmedos, y la temperatura del gas generado que es relativamente alta.

Esto desprende que la composición del gas producido tenga un bajo contenido de hidrogeno y metano. (Estrada & Meneses, Gasificación de Biomasa para producción de combustibles de bajo poder calorífico y su utilización en generación de potencia y calor, 2004, pág. 4).

Otra ventaja reside en su capacidad de funcionar en muy pequeña escala, lo que puede resultar viable económicamente para pequeñas industrias, con instalaciones inferiores a 10 kW, esto es gracias a la sencillez del conjunto de depuración del gas, conformándolo solo un quemador de ciclón y un filtro caliente.

Pero presenta un inconveniente el gasificador Crossdraft, ya que su capacidad de transformación del alquitrán es mínima, lo que genera la necesidad de emplear carbón vegetal de alta calidad, es decir, con bajo contenido de productos volátiles y contenido de cenizas.

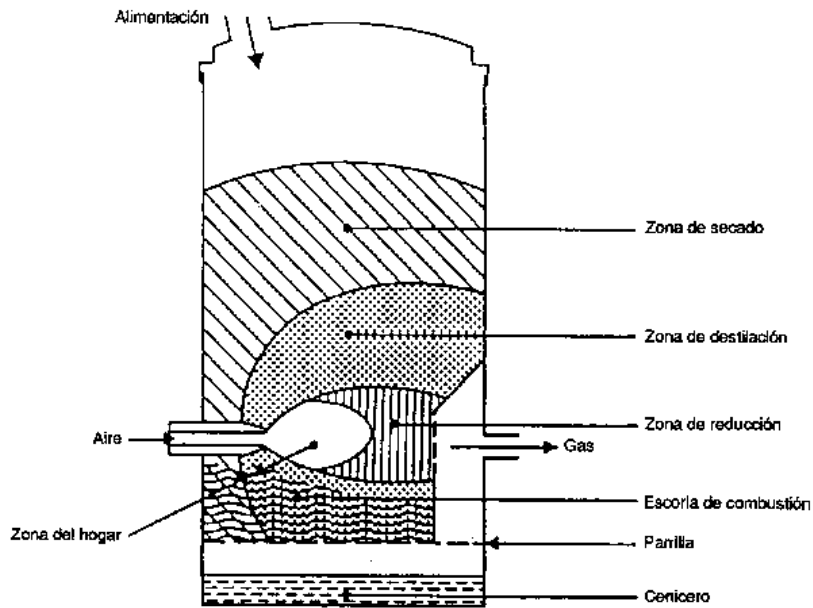


Ilustración 10: Gasificador tipo Crossdraft. Fuente: (Robaina & Reyes, 2012, pág. 2)

### 5.3 Sistemas de Generación de eléctrica a base de biomasa

En la ilustración (11) se muestran algunas tecnologías para la producción de electricidad clasificadas en función de su rendimiento y del rango de potencias en el que son aplicables. Esta ilustración se refiere a la generación con cualquier tipo de combustible por lo cual es solo orientativa.

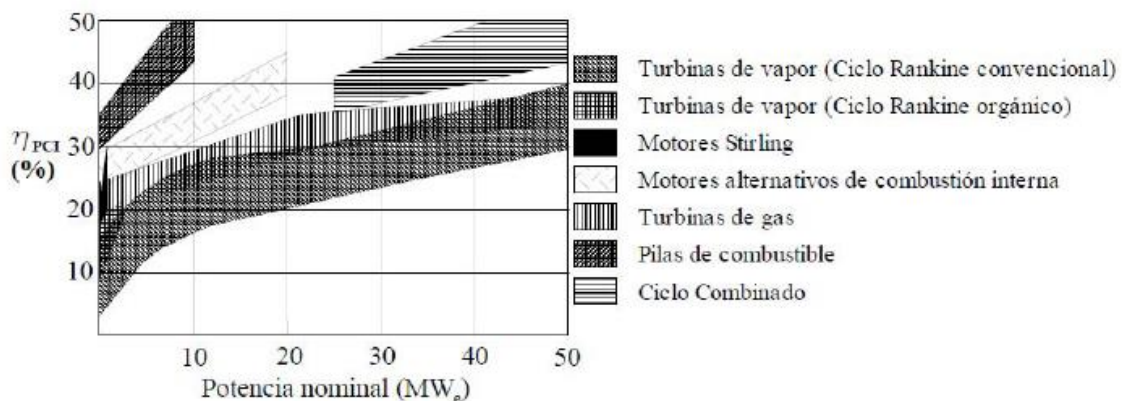


Ilustración 11: Comparación de tecnologías de generación eléctrica aplicables al uso de biomasa. Fuente: (Bagués, 2011, pág. 16)

“Por un lado se encuentran las tecnologías de combustión internas, en las que los propios productos de la combustión son los utilizados para la generación del efecto útil, por lo que requieren de la transformación previa de la biomasa mediante gasificación (Ya que funcionan con combustibles líquidos o gaseosos, estos son los motores alternativos de combustión interna (MACI), las turbinas de gas y los ciclos combinados. Por otro lado los equipos de combustión externa, en lo que los productos de la combustión ceden su energía térmica a

un fluido de trabajo que será el que produzca el efecto útil: ciclos de vapor y motor Stirling,” (Bagués, 2011, pág. 16)

- Motores alternativos de combustión interna:

Los MACI son aplicables para la generación de energía eléctrica con biomasa para rangos de potencias entre 5kW y 15 kW, o incluso mayores, con rendimientos eléctricos entre el rango de 25% a 45%. (Bagués, 2011, pág. 16) Utilizan como combustible los líquidos o gases obtenidos después de la gasificación de la biomasa sólida, pero el funcionamiento del motor puede no ser óptimo por el bajo poder calorífico y la suciedad que provoca el gas.

Esta tecnología tiene una gran presencia en el mercado, es de bajo costo y un elevado rendimiento eléctrico. Algunas de sus desventajas son el alto nivel de ruido, vibraciones y el frecuente mantenimiento necesario

- Turbinas de Gas:

Debido a sus bajos requerimientos de mantenimiento y funcionamiento silencioso por sus pocas partes móviles, esta tecnología ha sido muy utilizada en los últimos años. Para el uso específico de biomasa, “su rango de potencia se encuentra entre los 500kW y 25MW eléctricos, aunque se están comercializando micro turbinas para las aplicaciones de generación distribuida que se pueden encontrar con potencias en el rango de los 30kW hasta 250 kW eléctricos, y tienen un rendimiento de entre el 22% y el 30%.” (Bagués, 2011, pág. 17)

Algunas de las ventajas de estas turbinas de gas son: elevada temperatura de los gases de escape, lo que facilita el flujo residual de alta calidad. Pero presenta una desventaja con su funcionamiento a base de biomasa, y es que requiere de gas limpio para su funcionamiento, para evitar daños en las aspas de la turbina, razón por lo cual el gas obtenido de la gasificación debe ser filtrado.

- Turbinas de Vapor:

Son de las tecnologías más versátiles y reconocidas para la generación de electricidad. Se utilizan en un ciclo de vapor, denominado Rankine. La capacidad de este ciclo en su aplicación con biomasa se encuentra entre los 50 kW y los 2,5 MW, con rendimientos entre el 5 y hasta el 30%. (Bagués, 2011, pág. 17) El alto coste específico y el bajo rendimiento lo hace una tecnología que no es aplicable a pequeña escala.

- Motores Stirling:

Están disponibles para rangos de potencias desde los 3 kW hasta los 150 kW con eficiencia entre el 17 y el 30%. Funcionan con gases inertes (Aire, Hidrogeno o helio) que debe ser calentado por una fuente externa de calor.

“A diferencia de los MACI, presentan una combustión de forma externa al ciclo y continua, lo que favorece unos mejores niveles de emisiones, así como una reducción de ruidos y vibraciones, además tienen buen funcionamiento de



carga parcial. En contrapartida son complejos mecánicamente, lo que dificulta su mantenimiento, y el arranque es lento, otro inconveniente es su escasa presencia en el mercado, sobre todo para su uso con biomasa sólida, debido que tienen un alto coste” (Bagués, 2011, pág. 17)

- Ciclos Combinados:

Estos ciclos, es una combinación de turbina de gas con ciclo de vapor, y funciona con gas como combustible. Su uso tiene sentido para potencias por encima de los 10 MW, no siendo la alternativa tecnológica más adecuada para plantas que pueden utilizar su biomasa residual como combustible. (Bagués, 2011, pág. 18)

En la tabla 6 se muestra una comparación de las de las tecnologías aplicables en cuanto a diversos factores.

**Tabla 6: Características de tecnologías aplicables para generación eléctrica a pequeña escala. Fuente: (Bagués, 2011, pág. 18)**

Tecnología	$\eta_e$ (%)	Rango de aplicación	Relación W/Q	Inversión €/kW	Mantenimiento	Ventajas	Inconvenientes
MACI	25-45	5 kWe – 15 MWe	0,5 - 2	400-1.000	Alto	Conste	Peso
Micro turbinas de gas	15-30	25 – 250 kWe	0,4 - 1	800-2.000	Bajo	Peso	Eficiencia
ORC	8-15	3,5 – 200 kWe	0,1 – 0,4	2.000-5.000	Bajo	Baja T	Eficiencia
Motor Stirling	17-30	3 – 150 kWe	0,2 – 0,6	3.500-5.600	Medio	Eficiencia	Alta T
Pila combustible	30-55	1kWe – 10MWe	1 - 2	5.000-10.000	Bajo	Ruido	Vida útil

## 6 ABASTECIMIENTO DE BIOMASA RESIDUAL DE LA PALMA DE ACEITE:

### 6.1 Caracterización de la palma de aceite:

“La palma de aceite es original de los bosques tropicales de lluvias de Africa Occidental y Central. Su nombre botánico *Elaeis guineensis*, se deriva del

griego *elaion* (aceite); el nombre *guineensis* se refiere a su origen en la costa ecuatorial de Guinea. La palma de aceite llega a América simultáneamente con el transporte de esclavos. En Colombia se introduce en 1932, pero sólo 1945 se inicia su cultivo comercial.” (Gómez, Klose, & Rincón, Pirólisis de Biomasa - Cuesco de palma de aceite, 2008) Actualmente, las principales regiones de cultivo se concentran en Nigeria, Indonesia, Malasia, Tailandia, Colombia, Ecuador y otros países de Latinoamérica.

“La palma de aceite pertenece a la familia de las monocotiledóneas. Es un cultivo de plantación perenne<sup>20</sup> y de rendimiento tardío. Está formada por grandes hojas que se desprenden en forma de copete de su tallo, más o menos alto.” (Gómez, Klose, & Rincón, Pirólisis de Biomasa - Cuesco de palma de aceite, 2008)

Por medio de las características del espesor del endocarpio del fruto, se puede clasificar la palma de aceite en tres tipos: Dura, tenera y pisífera. Como se describe en la siguiente tabla y se puede visualizar en la ilustración 12.

Tabla 7: Clasificación del fruto de palma de aceite según el espesor del endocarpio (Franke, 1994)

Tipo	Espesor del Endocarpio /mm	Fracción de la masa total / %		
		Pulpa	Endocarpio (cuesco)	Almendra
<b>Dura-</b>	2-8	35-55	25-55	7-10
<b>macrocarya</b>	6-8	30-40	40-60	10-15
<b>deli</b>	2-5	60-65	30-32	8
<b>Tenera</b>	0.5-3	60-95	1-32	3-15
<b>Pisífera</b>	(sin)	100	0	mínimo

<sup>20</sup> Planta perenne: Planta que vive durante más de doscientos años.

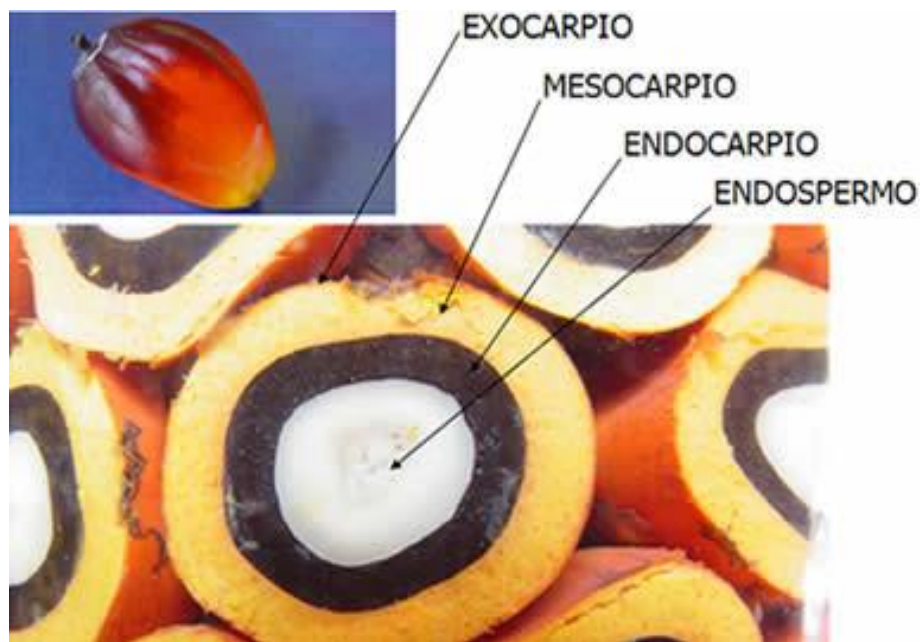


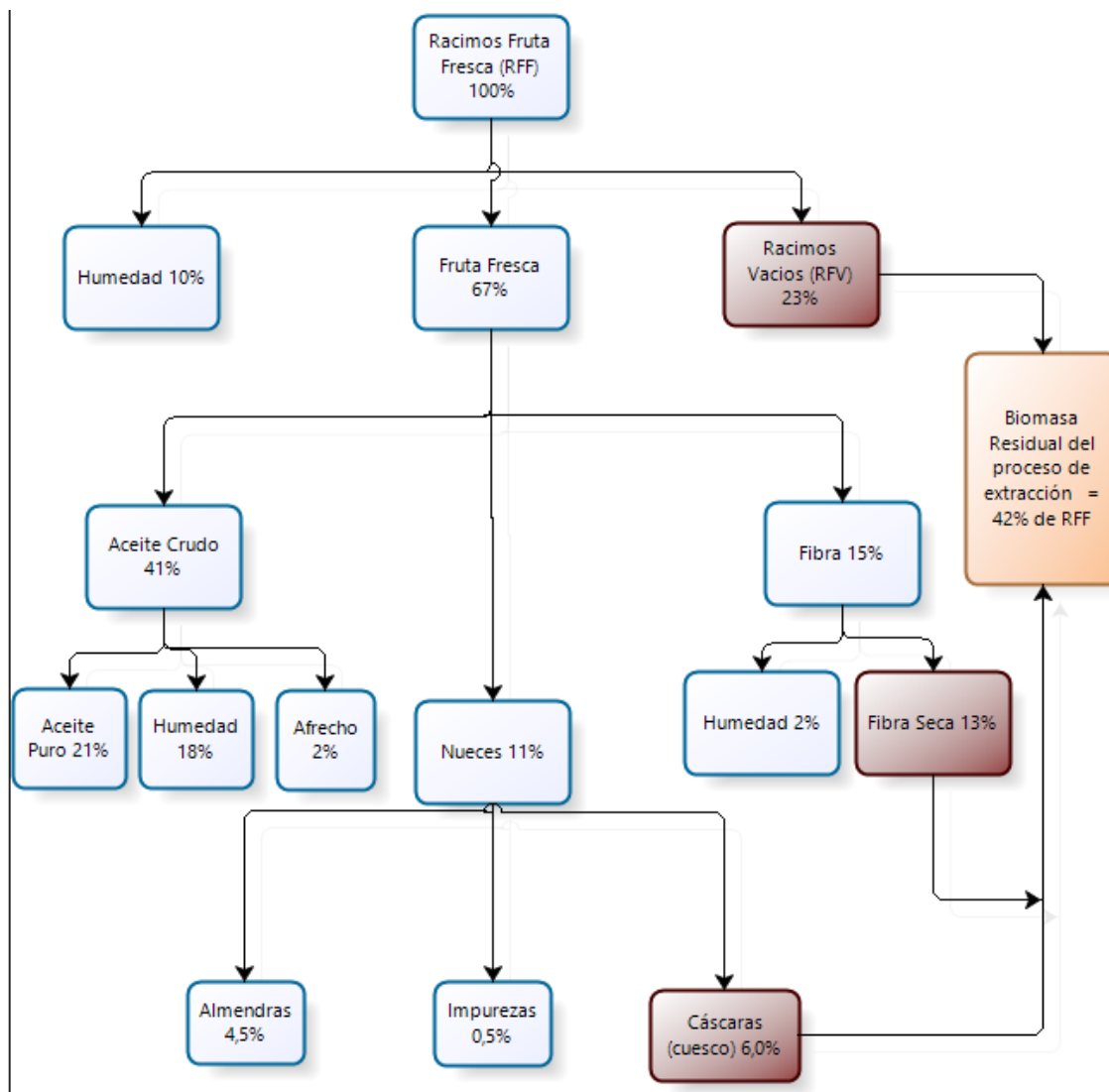
Ilustración 12: Componentes de coco de aceite de palma (Borrero, 2014)

Los procesos requeridos para la obtención incluyen la recolección de los frutos, su debida esterilización, el desgranado de los racimos, la maceración y finalmente la extracción del aceite de la pulpa y su clarificación. Se pueden también recuperar las nueces en el interior del endocarpio.

“El aceite extraído constituye un poco más del 20% del peso total del fruto y se utiliza ampliamente en la alimentación como aceite de cocina y en la elaboración de productos de panadería, pastelería, confitería y heladería entre otros. En la actualidad crecen aplicaciones industriales no comestibles y se utiliza para la fabricación de jabones, detergentes, grasas lubricantes y en la industria de pinturas. De la almendra se obtiene el aceite de palmiste, que constituye aproximadamente el 5% del peso total del fruto, y la torta de palmiste, que se utiliza en la preparación de alimentos concentrados para animales. El aceite de palma es el segundo aceite vegetal en producción mundial, después del aceite de soya; bajo condiciones adecuadas de cultivo se presenta el mayor rendimiento entre los cultivos de semillas de aceite.” (Gómez, Klose, & Rincón, Pirólisis de Biomasa - Cuesco de palma de aceite, 2008)

## 6.2 Biomasa residual del proceso de extracción del aceite de palma

En la ilustración 13 se muestra un esquema del balance de masa del proceso de extracción del aceite de palma. La biomasa residual del proceso, está conformada por los racimos de fruta vacíos, la fibra y el cuesco, los cuales constituyen aproximadamente el 42% en masa del total de los racimos de fruta fresca.



**Ilustración 13: Balance de masa del proceso de extracción del aceite de palma (Gómez, Klose, & Rincón, Pirólisis de Biomasa - Cuesco de palma de aceite, 2008)**

Se evidencia que casi la mitad de la masa de la palma de aceite queda como residuos del proceso de extracción, normalmente esta masa residual en la industria Colombiana es incinerada o arrojada en basureros para que se descomponga, ya que no tiene otra función útil en el proceso de obtención de aceite.

Esta biomasa residual, representa una oportunidad para la generación de energía sustentable, no solo en Colombia, en todo el mundo está biomasa residual se genera en altos volúmenes no siendo utilizada, sino simplemente desechada. El país líder en cultivo y generación de palma de aceite es Malasia, siendo uno de sus productos agrícolas más importantes.

**Tabla 8: Oferta mundial de aceite de palma y estimativo de la biomasa residual producida (Gómez, Klose, & Rincón, Pirólisis de Biomasa - Cuesco de palma de aceite, 2008)**

Región	Aceite crudo/kt/año (2004)	Biomasa residual total /kt /año (2004)			
		Total	RFV	Fibra	Cuesco
<b>Malasia</b>	13490	27910	15284	8639	3987
<b>Colombia</b>	630	1305	715	404	186
<b>Mundial</b>	25033	52596	28788	16271	7510

El cuesco residual que se obtiene del proceso de extracción, esta concentrado, lo que representa una ventaja frente a otros tipos de biomasa residual que se obtienen de manera dispersa e implican costos elevados de recolección, tratamiento y transporte hasta los sitios de procesamiento. La humedad contenida en este cuesco obtenido en las plantas extractoras, depende mas que todo de las características geograficas de la región donde se ubican, pero el promedio en porcentaje de humedad del cuesco se encuentra entre 5%-20% en relación de su propio peso. (Gómez, Klose, & Rincón, Pirólisis de Biomasa - Cuesco de palma de aceite, 2008)

Este cuesco de la palma de aceite es similar a las cascarras de coco en dureza y textura, estas características lo hacen un material apropiado para la generación de carbón activado, como el obtenido de las cascarras de coco, las cascarras de nueces, y las pepas de algunas frutas como el durazno y las olivas.

Estos desechos tienen potencial energético, debido al poder calorífico que pueden generar en su combustión, representando una gran oportunidad de generación de energía a base de basuras que son desechadas e incineradas. Se puede observar en la tabla 9, el cálculo del poder calorífico de 4 de los componentes mas importantes de la biomasa residual de la plama de aceite, como lo son: el cuesco, la fibra seca, la almendra y el afrecho<sup>21</sup>. Son comparadas con otros tipos de biomasa comunmente encontrados en algunos de los sectores agricolas de Colombia.

**Tabla 9: Poder calorífico de diferentes tipos de biomasa (Gómez, Klose, & Rincón, Pirólisis de Biomasa - Cuesco de palma de aceite, 2008)**

	Poder calorífico /MJ/kg	
	$H_0^{22}, wf^{23}$	$H_u^{24}, wf$
<b>Cuesco</b>	22.2 <sup>3</sup>	21.1 <sup>3</sup>
<b>Fibra</b>	18.4	17.1
<b>Almendra</b>	28.7	26.8
<b>Afrecho (palma)</b>	18.5	17.3
<b>Cascarilla de café</b>	18.7	17.5
<b>Bagazo</b>	17.9	16.9
<b>Madera de haya</b>	18.3	17.1

Se puede verificar que los diferentes componentes de la biomasa residual de la palma de aceite son de los que generan mayor poder calorífico, presentando así una

<sup>21</sup> Término que se utiliza para denominar en forma genérica al salvado procedente de la molienda.

<sup>22</sup> Límite Poder calorífico superior

<sup>23</sup> Libre de agua

<sup>24</sup> Límite Poder calorífico inferior

gran oportunidad de convertir este poder calorífico en energía térmica, con más facilidad que la mayoría de biomasa residual generada en Colombia.

### 6.3 Procedimientos de recolección de biomasa residual

El proceso empieza por la recolección de los cocos de la palma de aceite en las plantaciones que se encuentran en la misma zona que la planta de producción. Este procedimiento se hace manualmente con una herramienta conocida como horquilla, el cual consiste en una vara entre 1,3 – 1,8 metros de longitud, con un gancho en su punta, el cual facilita agarrar los racimos de cocos y simplemente tirar de la vara ya sujeta en los racimos en dirección al suelo para desprender estos de la palma.



**Ilustración 14: Recolección de frutos**

Después de esta operación, las hojas de palma de aceite pueden caer también al realizar esta fuerza para conseguir sus frutos, estas hojas son también biomasa, pero estas no son recolectadas ya que no tienen ningún uso en la operación rentable de la empresa.

Estas son desechadas y pisadas posteriormente por los colaboradores que siguen trabajando en el cultivo, y se degradan con el suelo. Estas hojas también tienen una humedad considerable, por lo que necesitan un tiempo mayor dedicado exclusivamente a su secado.

Lo mismo sucede con los racimos vacíos en donde se encuentran los cocos, ya que estos frutos son retirados en el mismo cultivo y se depositan en canastas, dejando estos racimos de fruto vacíos en el lugar de recolección. Al igual que las hojas estos tienen un porcentaje de humedad más alto que el fruto lo cual requiere más tiempo de secado.

Después de haber depositado los frutos en una canasta, un camión pasa periódicamente en la jornada laboral alrededor del cultivo recolectando todas las canastas que se encuentren llenas, para llevarlas a la planta de procesamiento.



**Ilustración 15: Sitio de cargue de producto en camiones**

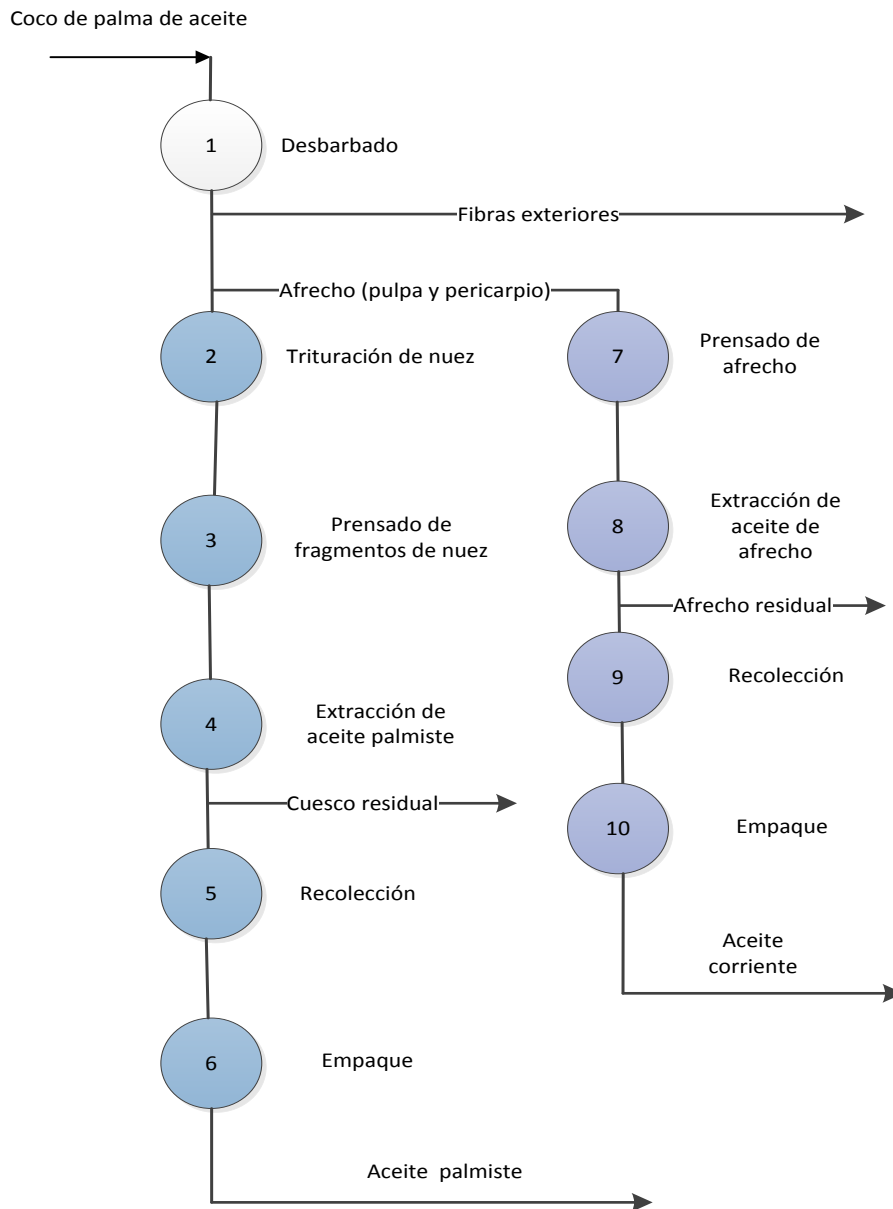
Por lo cual para mejor enfoque del proyecto se tendrá en cuenta la biomasa residual generada en el proceso de extracción del aceite de palma.



**Ilustración 16: Fruto de palma de aceite listo para extracción (Borrero, 2014)**

A continuación se muestra un diagrama de flujo de operaciones de la extracción de este aceite cuando el fruto llega a la planta de tratamiento.





**Ilustración 17: Diagrama de flujo de proceso de extracción de aceite de palma (Meta P. d., 2014)**

El primero proceso, el desbarbado, una máquina dentada se encarga de extraer todas las fibras exteriores con el pericarpio, y también separando la pulpa del coco, la cual se utiliza junto el pericarpio para extraer el aceite de este con ayuda de una prensa. El afrecho resultante de este proceso es utilizado en calderas de vapor como combustible para suministrar energía a una de las partes de la empresa. La proporción de este desecho es aproximadamente el 15 % del total de la biomasa residual generada solo por el proceso de extracción, y es actualmente re-utilizada.

Por el otro lado queda el cuesco y la nuez, los cuales son triturados primero para tener un tamaño de partícula más pequeño, y después todos estos fragmentos son prensados para extraer el jugo de estos, el cual es conocido como palmiste, que es un aceite de mejor calidad que el aceite regular adquirido por la pulpa y el pericarpio.

Después del proceso de presado o extracción, se desecha el cuesco junto con la nuez sobrante totalmente triturados, actualmente este desecho no es utilizado para su re-utilización, porque la empresa cree que no tiene ninguna función útil después de ser triturada y con una simple combustión de caldera no produce la suficiente energía térmica para ellos, lo cual hace de estos desechos una opción viable para la gasificación, ya que tiene un mejor aprovechamiento energético de estos residuos, y tienen un porcentaje de humedad menor al resto del fruto.

Actualmente los desechos generados de cuesco y nueces son del 85 % de la totalidad de los residuos biomásicos que genera la empresa en el proceso de extracción de aceite, este valor es alto debido a que estos residuos actualmente no los están utilizando para ningún otro proceso.

La empresa PAM al utilizar una parte de sus desechos, ya tiene toda una operación de recolección y almacenamiento de estos, los desechos del afrecho y las fibras externas que son los que más utilizan para las calderas los depositan en una bodega techada que se encuentra en la planta de procesamiento, los almacenan por algunos días para dejarlos secando, aunque no es necesario por el bajo porcentaje de humedad que tiene el fruto de la palma de aceite (5%-20% de su peso, depende del clima en la ubicación del cultivo), allí mismo almacenan los desechos de cuesco y nueces, los cuales no dejan por tanto tiempo como los anteriormente nombrados, ya que se deshacen de ellos para incinerarlos, o dejar que se descompongan en algún lugar abierto. Todos estos desechos suman aproximadamente 30 toneladas mensuales, los cuales están compuestos por 15 %(4,5 toneladas) de afrecho (ya que el restante se usa en las calderas) y el restante 85 %(25,5 toneladas) lo compone el cuesco y nueces residuales. Estas 30 toneladas son las que se cargan en camiones durante el paso del mes para ser desechadas.

Al tener un proceso de recolección ya operando para este tipo desechos, solo es necesario cambiar las instrucciones y operaciones que se tienen actualmente acerca del desecho de los residuos de cuesco y nueces. Realizar un cambio se refiere a no desecharlos de manera tan rápida, si no almacenarlos para utilizarlos como combustible de la planta gasificadora propuesta, al consumir esta planta aproximadamente 176 kg diarios con solo 8 horas de jornada de trabajo, estos desechos estarán rotando de manera periódica para su gasificación por lo cual no representarán un problema de almacenamiento a largo plazo. Generando de esta manera una re-utilización de los desechos que actualmente son desperdiciados por PAM. El operario de la planta que se contratará se puede encargar de ordenar y alistar estos desechos para ser re-utilizados y también de gasificarlos a diario.

Se debe también hablar con la gerencia de la empresa para que re-evalué el manejo de los desechos que tienen actualmente, para aclarar la importancia de almacenar por más tiempo al menos 15,840 kg de cuesco y nueces residuales de las 25,500 kg que producen mensualmente. Este proyecto se enfocara en este desecho ya que es el que generan en mayor porcentaje y tiene la mejor capacidad calorífica para su

aprovechamiento, también porque para el procesamiento del cuesco y la nuez, estos son triturados y prensados, dejando un tamaño de grano mucho menor lo cual es óptimo para su gasificación en la planta propuesta.

## 7 PLANTA GASIFICADORA (estudio técnico)

### 7.1 Especificaciones “Power Plant®”

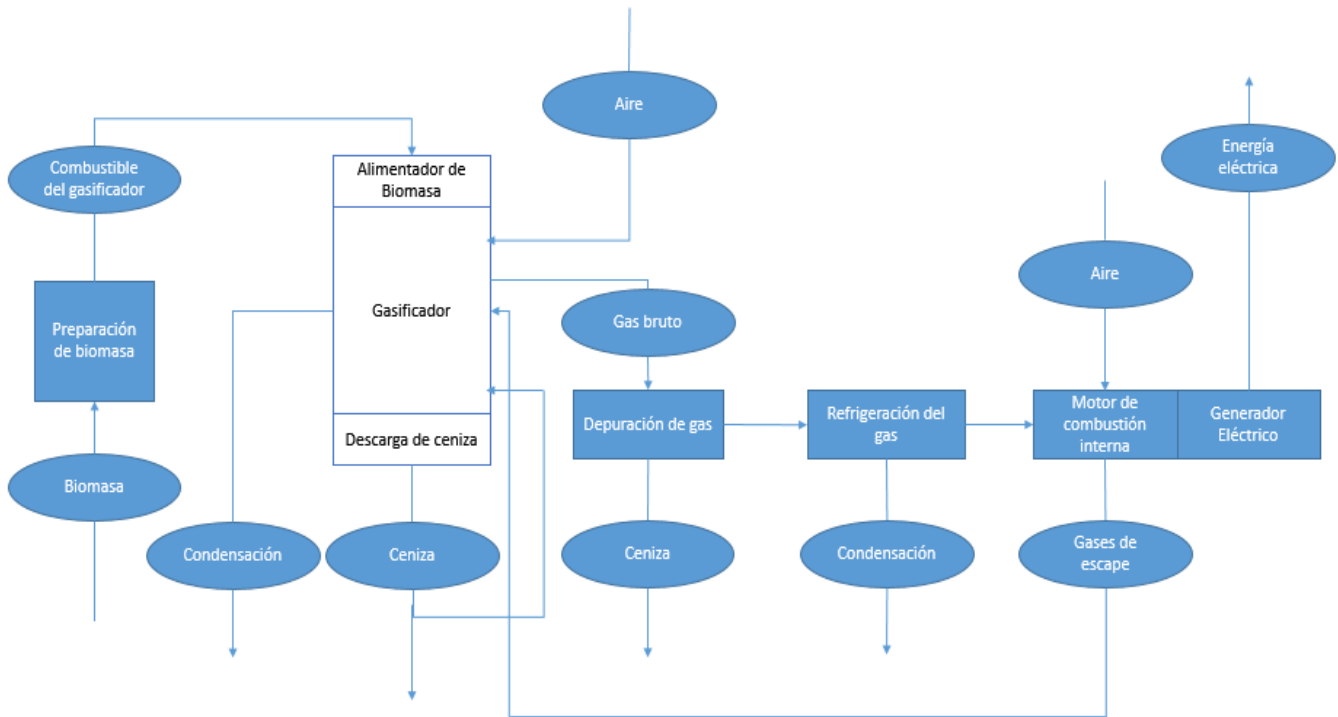
Tabla 10: Especificaciones de planta energética gasificadora "Power Plant®" (Labs A. P., 2014)

Planta Power Plant de 20kw	
Capacidad eléctrica de salida	2 – 20 kWh
Rango de salida de Gas	11-52 $m^3/hr$
Calentamiento de gas máximo en salida	331,727 BTU/hr
Promedio de consumo de biomasa	4.8 – 20.4 kg/hr
Huella del sistema	55" x 54" (139 x 136cm)

La electricidad resultante, puede variar dependiendo del tipo de combustible que se use, debido a que algunas biomásas tienen mayor poder calorífico que otras, este valor también depende de la humedad de dicha biomasa. Combustibles más secos, resultan en una más alta salida de energía.

### 7.2 Procesos internos del gasificador

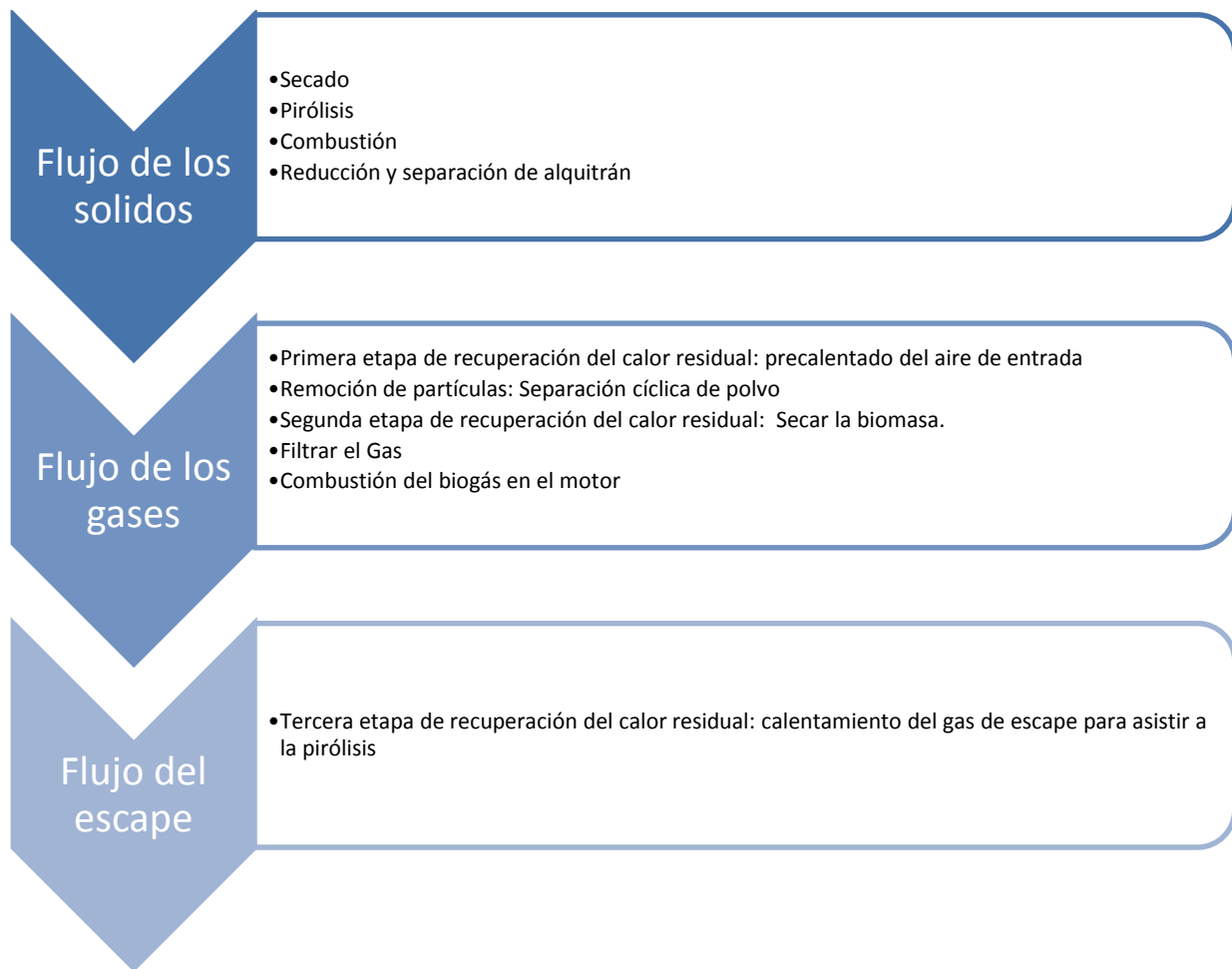
Para tener más claridad de cómo funciona la planta, se explicará a continuación cada uno de los procesos que ocurre dentro del montaje de gasificación.



**Ilustración 18: Diagrama de flujo de proceso del funcionamiento de la planta gasificadora (Labs A. P., 2014)**

Los procesos del gasificador se pueden dividir en tres grupos los cuales representan cada uno de los pasos que tiene que seguir hasta terminar en el motor para generar electricidad, o como gases sobrantes como CO<sub>2</sub> que llegan hasta el escape, estos tres son los tres flujos de proceso:

- Flujo de los sólidos
- Flujo de los gases
- Flujo del escape



### 7.2.1 Flujo de los sólidos:

*Esta parte del proceso, inicia cuando el operario ha introducido la biomasa a la tolva, ha colocado la tapa, cerrado el sello de manera adecuada y hecho la ignición inicial a través del puerto de ignición con el soplete.*

#### 7.2.1.1 Secado

*La biomasa desciende por gravedad de la tolva hacia la cubeta de secado. Esta cubeta de secado es un intercambiador de calor de doble pared que asiste en el secado de la biomasa a temperaturas entre 100°C – 200°C usando el calor recuperado del biogás. Esto posibilita al Power Plant® para gasificar biomasa con una humedad contenida hasta del 30 %. (Labs A. P., 2014)*

#### 7.2.1.2 Pirólisis

*La biomasa seca es empujada hacia el Pyrocoil<sup>25</sup> por la barrena. Este Pyrocoil es otro intercambiador de calor de doble pared que asiste a la pirólisis exponiendo a la biomasa a temperaturas incluso mayores en un rango entre 300°C – 600°C usando el calor recuperado de los gases de escape del motor. Pirólisis es el proceso en cual la biomasa se convierte en carbón vegetal*

<sup>25</sup> Es una pieza intercambiadora de calor de gas, utilizada para introducir recursos caloríficos externos a la zona de pirólisis al gasificador tipo downdraft. (Labs A. P., 2014)

mientras emite grandes cantidades de gases de alquitrán inflamables. (Labs A. P., 2014)

#### 7.2.1.3 *Combustión / Gasificación*

Después de la pirólisis, el carbón y los gases de alquitrán producidos en el Pyrocoil descienden a la campana de reducción, un paso con forma de reloj de arena con una constricción en el centro del gasificador. Directamente por encima de la campana de reducción, 5 toberas de aire proporcionan un chorro de aire precalentado a la zona de combustión. En la zona de combustión, los gases de alquitrán son forzados a través de la constricción y son parcialmente oxidados con temperaturas de llama que van desde los 1.000°C – 1.200°C. (Labs A. P., 2014)

La combustión, es el proceso exotérmico principal en el proceso. Secado, pirólisis, reducción y separación de alquitrán, consumen todos ellos calor; y si demasiado calor es consumido o perdido, la eficiencia del proceso de gasificación decrece. Power Plant® utiliza calor recuperado del gas que sale de la biomasa caliente y de los gases de escape del motor mejorando el balance de calor del proceso global aumentando así la eficiencia.

#### 7.2.1.4 *Reducción y separación de alquitrán*

El vapor de agua (H<sub>2</sub>O) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) producidos en paso la zona de combustión, descienden por la campana de reducción y pasan a través del carbón reactivo caliente y brillante en la zona de reducción.

Debido a la alta reacción del carbón a temperaturas entre 600 – 900°C los alquitranes y los gases son reducidos (removiendo un átomo de oxígeno) a H<sub>2</sub>, CO, y algo de CH<sub>4</sub> los cuales son combustibles gaseosos de combustión limpia. Esta conversión de biomasa sólida rica en energía en combustibles gaseosos de combustión limpia es el objetivo último de la gasificación. (Labs A. P., 2014)

En el curso de las reacciones de reducción, el carbón es consumido y encogido hasta que son empacados y son ricos en contenido de ceniza, inhibiendo el flujo de gases a través de la campana de reducción, los sensores de la planta automáticamente detectan esta condición, y de manera automática acciona el sacudidor de rejilla para sacudir hasta las más pequeñas cenizas e introducirlas en el contenedor de ceniza, restaurando así el flujo de los gases. El sacudidor de rejilla es el final del flujo de los sólidos en el gasificador, y el inicio del flujo de los gases de la biomasa.

#### 7.2.2 *Flujo de los gases*

##### 7.2.2.1 *Primera etapa de recuperación del calor residual: precalentado del aire de entrada:*

Al final de la reacción de reducción, el biogás está demasiado caliente para ser usado en el motor. Gasificadores tradicionales pasan el biogás caliente a través

de un radiador para disipar calor residual, pero esta planta usa este calor para incrementar la eficiencia y la calidad del biogás.

El flujo de los sólidos desciende a través del núcleo del reactor, terminando hasta el contenedor de cenizas. El biogás caliente entonces asciende por el espacio que se encuentra afuera del núcleo del reactor, intercambiando calor con las líneas de aire (tubos corrugados a través de los cuáles el aire fluye desde su entrada al sistema hacia las boquillas de aire en la zona de combustión). Este proceso no solo precalienta el flujo de aire de entrada hacia la zona de combustión, también enfría el biogás de manera significativa. (Labs A. P., 2014)

#### 7.2.2.2 Remoción de partículas: Separación cíclica de polvo

Mientras el biogás pase por la zona de reducción y la rejilla de ceniza, acumulará ceniza y carbón en polvo, los cuales deben de ser separados para que no puedan ensuciar las partes de la planta vía abajo. La remoción de estas partículas es conseguida usando un ciclón (Cilindro alargado que gira continuamente sobre su propio eje), en el cual la el gas gira en un cono descendente, causando que se separe el polvo y las cenizas debido a la fuerza centrífuga. Luego el biogás asciende fuera del ciclón a través de un pasaje central mientras las partículas caen al contenedor del ciclón, el cual es un tipo secundario de contenedor de ceniza para almacenar la ceniza restante que no entró al contenedor de ceniza principal. (Labs A. P., 2014)

#### 7.2.2.3 Segunda etapa de recuperación del calor residual: Secar la biomasa.

A pesar de la transferencia de calor a las líneas de aire, el biogás conserva algo de calor residual, el cual es recuperado encaminando el gas hacía el espacio entre las paredes dobles de la cubeta de secado. Este proceso de intercambio de calor enfría el gas lo suficiente como para ser filtrado de forma segura, mientras también permite al gasificador tolerar material de alimentación con un mayor contenido de humedad. (Labs A. P., 2014)

#### 7.2.2.4 Filtrar el gas

La última etapa del flujo de los gases antes de ser combustionados en el motor es la de filtración. Los gases residuales de alquitrán se condensan en el medio filtrador, protegiendo al motor de acumulación de alquitrán. El filtro utiliza astillas de madera o carbón como medio filtrador. Un par de discos de espuma aceitados filtran las partículas finas evitando que el medio filtrador sea arrastrado por la corriente de gas. Las cenizas de carbón que son limpiadas del fondo del gasificador pueden ser guardadas y utilizadas como medio filtrador. Cuando este medio filtrador es gastado, puede ser secado y adicionado de nuevo con la biomasa que alimenta el sistema (añadir menos del 10 % de masa del total de la biomasa añadida al sistema). (Labs A. P., 2014)

#### 7.2.2.5 *Combustión del biogás en el motor*

*Después de la filtración, el biogás ya limpio y enfriado es mezclado con aire, el cual lo enfría aún más. El frasco de condensado captura cualquier condensación adicional, y entonces el aire-combustible mezclado es dirigido hacia el motor para hacer combustión para la producción de poder. (Labs A. P., 2014)*

#### 7.2.3 *Flujo del escape*

*La entrada del biogás en el motor es el final del flujo de los gases, y el comienzo del flujo del escape.*

##### 7.2.3.1 *Tercera etapa de recuperación del calor residual: calentamiento del gas de escape para asistir la pirólisis*

*El motor emite gases de escape a temperaturas lo suficientemente altas para causar una pirólisis. En vez de dejar desperdiciar esta energía, la planta propuesta separa y dirige estos gases de escape entre las paredes dobles del pyrocoil para el intercambio de calor, así entonces los gases de escape pueden llevar a la biomasa a temperaturas donde la pirólisis puede iniciar. Cuando la biomasa es sometida a bajas temperaturas de pirólisis por un extenso periodo de tiempo, el resultado es una pirólisis más exhaustiva y un biogás más limpio, porque el alquitrán producido en bajas temperaturas pirolíticas<sup>26</sup> es más fácil de separar. (Labs A. P., 2014)*

*Los gases de escape no se mezclan en ningún momento con la biomasa; el intercambio de calor sucede al interior de las paredes del pyrocoil. Después que los gases de escape son depositados de manera útil en el pyrocoil, salen de la planta por el tubo de escape/exosto.*

### 7.3 *Combustibles adecuados para “Power Plant®”*

Se pueden encontrar distintas clases de biomasa, pero no todas son totalmente funcionales, o no se ha desarrollado aún un proceso indicado para algunas biombras específicas y aún se sigue investigando al respecto para lograr un mayor rango de biombras funcionales.

Las mostradas a continuación son algunas de las investigadas por “All Power Plants” y se puede observar cuales han sido aptas para el objetivo buscado, y cuáles de ellas han presentado hasta la fecha inconvenientes con las plantas energéticas.

Estos combustibles tienen un mejor desempeño si cumplen estas características:

Tamaño de partículas efectivo: 0.5 – 1,5”

---

<sup>26</sup> Pirolíticas: Término acuñado por ALL POWER LABS para definir el rango de temperaturas (300°C – 600°C) en que se realiza la pirólisis, en el caso de bajas temperaturas pirolíticas se refiere a un valor cercano a los 300°C.



Contenido de humedad (% de su peso seco): hasta un 30% (<10% durante la fase de inicio)

Contenido de ceniza: hasta un 5%

Los combustibles que están fuera de estos rangos se consideran experimentales, y necesitan de más investigación para poder adaptar las plantas energéticas existentes a estos tipos de biomasa.

**Tabla 11: Diferentes combustibles y su aptitud de uso para la planta energética "Power Plant®" (Labs A. P., 2014)**

<b>Tipo de Combustible</b>	<b>Aptitud para el uso</b>	<b>Inconvenientes</b>	<b>Procesos requeridos para su uso</b>
Cascaras de nuez	Excelente	Las cascaras de nueces trituradas pueden no ser apropiadas	Perfectamente apto como se consigue normalmente
Viruta de madera dura	Estupendo	Deber poder pasar por una ventanilla de 1"x1", pero no debe pasar por la de 0.5"x0.5"	0.5 _ a 1.5_ largo, 0.25 "de espesor, por ejemplo como lo hace una astilladora de disco
Viruta de madera blanda	Estupendo	Deber poder pasar por una ventanilla de 1"x1", pero no debe pasar por la de 0.5"x0.5"	0.5 _ a 1.5_ largo, 0.25 "de espesor, por ejemplo como lo hace una astilladora de disco
Cascaras de Coco	Estupendo	Deber poder pasar por una ventanilla de 1"x1", pero no debe pasar por la de 0.5"x0.5"	Debe ser fragmentado en trozos
Aserrín	No apto	Posibles problemas de obstrucción del flujo	Deber ser peletizado a un mínimo de 1" de diámetro y 1-1.5" largo
Mazorcas de maíz	Marginal	Depende del tamaño de la mazorca, no ha sido probado extensamente	Debe ser fragmentado en trozos
Estiércol de Vaca	No apto	Altamente variable. Alto minerales contenidos puede llevar a dejar desechos.	Secado hasta un 25% de humedad, y peletizado a un mínimo de 1" de diámetro y 1-1.5" largo
Granos de café	Pobre	Posibles problemas de obstrucción del flujo	Deber ser peletizado a un mínimo de 1" de diámetro y 1-1.5" largo
Gallinaza	Pobre	Altos residuos, no uso funcional hasta ahora	Debe ser secado y condensado en trozos
Desperdicios sólidos	Pobre	Altamente variable. Alto minerales contenidos	Debe ser secado y condensado en trozos

municipales		puede llevar a dejar residuos.	
Bamboo	No apto	Alto contenido de Sílice <sup>27</sup> y ceniza, causa atascos en la rejilla de ceniza	
Papel	No apto	Combustible esponjoso. Insuficiente densidad para poder moverse dentro del sistema. Puede ser usado como combustible en forma de bloques, pero se necesita más investigación.	
Bagazo de azúcar	No apto	Combustible esponjoso. Puede trabajar mejor si el proceso de preparación es mejorado.	
Cascaras de maíz	No apto	Alto contenido de Sílice y ceniza. Puede trabajar mejor si el proceso de preparación es mejorado.	
Plástico	No apto	Se funde en una masa espesa, dañando el reactor. Puede producir gases tóxicos.	
Cascarilla de arroz	No apto	Alto contenido de Sílice, pequeño tamaño de las partículas.	
Carbón	No apto	Arde con demasiada energía que podría destruir el reactor.	
Basura	No apto	Produce humos altamente tóxicos.	
Llantas	No apto	Esta planta solo está diseñada para funcionar con biomasa.	
Algas	No apto	Posible bajo contenido de alquitrán. Actualmente está siendo investigado como un combustible.	

Dentro de las biomásas con alta aptitud de uso en la “power plant” se pueden encontrar las cascaras de coco, como se puede observar está señalado de color rosa esta opción, debido a los intereses de este proyecto, el cual está enfocado en los residuos biomásicos del proceso de la extracción de la palma de aceite.

<sup>27</sup> Es un compuesto de silicio y oxígeno (Wikipedia, 2014)

Este aceite es extraído del fruto o coco de esta palma, y su fruto como el de toda palma tiene características similares. La biomasa residual es básicamente cuesco del endocarpio (cascara), por lo cual es una de las biomásas aptas para el uso de ella como combustible en el "Power Plant", y no requiere de muchos procesos o tratamientos antes de uso en la planta.

Esto ayuda a confirmar el gran potencial de este tipo de biomasa residual para la obtención de energía.

#### 7.4 Identificación de componentes

Vista Frontal



- 1) Tolva de alimentación de biomasa
- 2) Filtro de gas (filtro de lecho)
- 3) PCU (Process Control Unit)
- 4) Panel de operación
- 5) Generador
- 6) Caja de conexión eléctrica.
- 7) Tubo de escape (Exosto)
- 8) Extractores duales de gas (parte del ensamble de ignición)
- 9) Válvula de seguridad de socorro

Ilustración 19: Vista frontal "Power Plant" (Labs A. P., 2014)

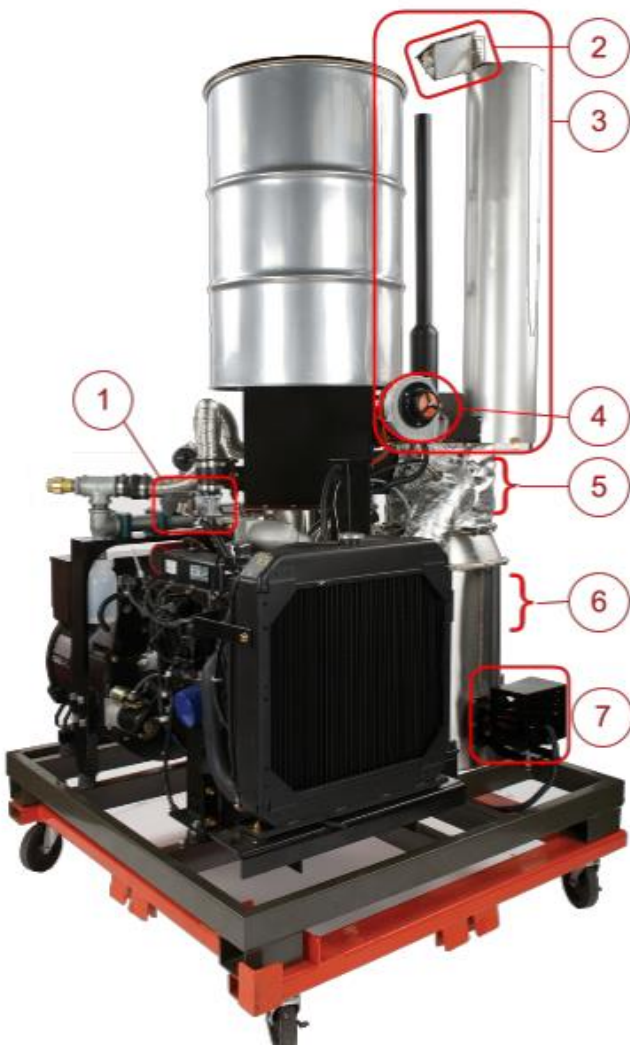
## Vista Frontal-lateral



- 1) Abrazadera de la tapa del filtro de gas
- 2) Válvula de paso de gas al motor
- 3) Cubo de secado
- 4) Servo válvula de mezcla de de aire y filtro de aire de admisión.
- 5) Motor de barra sinfín de alimentación
- 6) Recipiente de condensado
- 7) Filtro de combustible del motor

Ilustración 20: Vista frontal-lateral "Power Plant" (Labs A. P., 2014)

## Vista Posterior



- 1) Controlador del motor y servo-válvula de aceleración del motor
- 2) Encendedor de llama/antorcha
- 3) Ensamble de ignición
- 4) Extractor de aire
- 5) Pyrocoil<sup>28</sup>
- 6) Reactor
- 7) Ensamble agitador de la rejilla

Ilustración 21: Vista posterior "Power Plant" (Labs A. P., 2014)

<sup>28</sup> Pyrocoil: Es una pieza intercambiadora de calores de gas, utilizada para introducir recursos caloríficos externos a la zona de pirolisis al gasificador tipo downdraft. (Labs A. P., 2014)

Puerto de ignición, con tapa.



Ilustración 22: fotografía puerto de ignición "Power Plant" (Labs A. P., 2014)



- 1) Reloj de horas del motor
- 2) Sensor de oxígeno relación aire/combustible
- 3) Pantalla PCU y botones de entrada
- 4) Interruptor principal de encendido
- 5) Interruptor de llave del motor
- 6) Perilla de ajuste de succión de gas (controla los extractores de gas en el ensamble de ignición)
- 7) Perilla de ajuste de succión de aire (controla los extractores de aire en el ensamble de ignición)
- 8) Puerto USB para conexión con la PCU
- 9) Alarma de peligro

Ilustración 23: Fotografía panel de control "Power Plant" (Labs A. P., 2014)

## 7.5 Accesorios, insumos e implementos de seguridad

Para el correcto funcionamiento, y por seguridad de los operarios se recomiendan una serie de implementos y accesorios. Todos son de fácil adquisición. Se pueden conseguir en sitios como Home-center o depósitos de herramientas.

La mayoría de estos implementos son recomendados por “All power labs”, para facilitar la operación de la planta gasificadora, estos son:

- Bandeja de metal: Utilizada para recolectar cenizas, también para transportar de manera más sencilla componentes como carbón o la biomasa.
- Equipos de protección para oídos y ojos: La máquina cuando entra en la etapa de ignición empieza a generar ruido, debido a que se enciende el motor para empezar con el proceso de generación de energía eléctrica, la prolongada exposición a este ruido puede generar percances en un futuro, la protección para los ojos es debido al material manejado, ya que se necesita que sea particulado en pellets pequeños, puede que alguna de estas partículas entre en los ojos de los operarios en este proceso.
- Extintor: Al manejar operaciones que necesitan ignición, y también la constante generación de gas por parte de la planta, se tiene un riesgo latente de incendio por parte de esta, por lo cual esta medida de seguridad es necesaria.
- Soplete de mano: Utilizado para generar la llama de ignición para encender el gasificador y empezar la pirólisis, a través del puerto de ignición.
- Guantes: Al operar con implementos que están bajo contacto de energía térmica y eléctrica, se corre el riesgo de quemaduras por superficies calientes o por medio de gas, y para realizar la operación de rellenado del tonel.
- Llave de 13mm/Destornillador cabeza Phillips/juegos de llaves allen: Utilizados para el ajuste de valvular y tornillos que pueden desajustarse a través del uso de la planta.
- Rastrillo: Para recolectar las cenizas y la biomasa que caiga al suelo.
- Fluido de ignición: Utilizado para generar la ignición inicial en el gasificador, este puede ser cualquier tipo de líquido inflamable, ACPM, gasolina, queroseno, alcohol, etc.

- Aceite de motor: La planta cuenta con un motor Vortec 3.0 LI-4, fabricado por GM, por lo cual después de cierto uso se debe cambiar el aceite para su correcto funcionamiento.
- Líquido refrigerante: Utilizado igualmente para toda la parte del motor, para su correcto funcionamiento y prevenir re-calentamientos.
- Batería para autos de 12v: Esta batería es utilizada para generar la electricidad básica que necesita la planta para el funcionamiento de todos sus implementos electrónicos, como el panel de control.
- Repuestos de filtro de aire: Toca cambiarlos después de cierto uso, este ayuda a generar una buena calidad de gas removiendo impurezas existentes.
- Carbón: Utilizado con poca regularidad, para ayudar a la gasificación inicial dentro del tonel, como se necesita de vez en cuando en la primera corrida de la planta en la semana.
- Arnés de seguridad: necesario para el trabajo de alimentación de la tolva del gasificador, debido que al estar en una altura de más de 1,50 debe asegurarse con algún tipo de mecanismo, este arnés incluye línea de vida y enganches que pueden ser colocados en la estructura de los techos.
- Canecas: Para almacenar la biomasa residual (cuesco y nueces) que ya fueron revisadas y se comprobó las correctas dimensiones de los granos.

## 7.6 Diagramas de operaciones “Power Plant®” (Plan de manejo)

A continuación se muestra los diagramas de flujo de proceso u operaciones a desarrollar en la planta gasificadora para su adecuado funcionamiento. Esta planta se divide en dos partes, el sistema de ignición o gasificación, el cual se encarga de calentar la biomasa dentro de la tolva para así convertirla en Biogás que será el componente necesario para el próximo sistema, el cual es el sistema del motor, este último se encarga de tomar el biogás proveniente de la gasificación, y utilizarlo para hacer combustión y transformar esta energía térmica en energía mecánica.

El sistema del motor es el encargado de cargar el generador con electricidad, que puede ser almacenada en este o utilizada al instante que empieza a producirse.

También se utilizaran estos diagramas para calcular los tiempos y movimientos de las operaciones a realizar por el operario de la planta, y definir de esta manera que jornada laboral es prudente para realizar estas operaciones, así mismo los pre-tratamientos a la biomasa residual.

### 7.6.1 Proceso de gasificación

**Tabla 12: Diagrama de flujo de operaciones de planta gasificadora para el sistema de ignición. (Labs A. P., 2014)**



<b>Diagrama de flujo de proceso</b> Empresa : Palma de aceite del meta Proceso: Operación "Power Plant®" para gasificación de la biomasa residual pre-tratada Diagramó: Johann Anchique Metodo: Actual						RESUMEN		
						ACTUAL		
							Numero	Tiempo
						○	14	50.16 minutos
□	8	12.25 minutos						
▽	1							
→	1	5 minutos						
D	2	17 minutos						
Total	26	84,41 minutos						
No	Actividad	○	□	▽	→	D	Tiempo	Observaciones
1	Almacenamiento de Biomasa residual.	○	□	▽	→	D		
2	Transportar biomasa Pre-tratada hasta la planta gasificadora.	○	□	▽	→	D	5 min	
3	Remover la tapa y el anillo de la tolva	●	□	▽	→	D	30 seg	
4	Revisar que el sistema esté vacío	○	■	▽	→	D	20 seg	
5	Insertar 2 bolsas de carbón	●	□	▽	→	D	1min	Debe ser de 0.5"-1.5" de tamaño, solo se necesita para la primera corrida y después de cada limpieza mayor, para lograr el tamaño se puede utilizar una de las mallas que incluye el costo de la planta
6	Verificar si esta lleno hasta el punto del combustible	○	■	▽	→	D	40 seg	
7	Encender el interruptor "POWER"	●	□	▽	→	D	10 seg	
8	Revisar si la PCU cuando encienda, activa la barrena y empuja el carbón hacia el gasificador	○	■	▽	→	D	2 min	
9	Colocarse arnes de seguridad	●	□	▽	→	D	5 min	Por motivos de seguridad industrial, cuando se trabaja en alturas de mas de 1,50m se debe de utilizar un arnes de seguridad
10	Llenar la tolva con la biomasa	●	□	▽	→	D	20 min	Utilizando la escalera brindada.
11	Quitarse el arnes de seguridad	●	□	▽	→	D	5 min	
12	Asegurar la tapa y el anillo de la tolva	●	□	▽	→	D	30 seg	
13	Inspeccionar cuando la tolva este llena el interruptor de flujo detenga automáticamente la barrena	○	■	▽	→	D	1min	
14	Remover la tapa del puerto de ignición	●	□	▽	→	D	15 seg	
15	Abrir la válvula de gas de la llama	●	□	▽	→	D	15 seg	
16	Inspeccionar que la válvula de bola de paso de gas al motor este cerrada	○	■	▽	→	D	15 seg	
17	Girar el interruptor del extractor del gas.	●	□	▽	→	D	5 min	Hasta que aumente el valor de Preact entre -10 a -30 en el PCU, estos valores son dados en unidades de un décimo
18	Inspeccionar que el encendedor que se encuentra en la parte superior del exosto empiece a brillar	○	■	▽	→	D	5 min	El encendedor empieza a brillar tan pronto el reactor de vacío exceda los -0.5
19	Usar la botella con atomizador y agregar de 15-25 ml de fluido inflamable a través de la puerta de ignición	●	□	▽	→	D	1 min	El fluido de ignición puede ser diésel, gasolina, keroseno, etc
20	Encender la llama con un soplete a través del puerto de ignición	●	□	▽	→	D	3 min	No es necesario esperar con el soplete encendido en el puerto, el soplete es solo como llama iniciadora.
21	Esperar que el valor de Tred suba hasta 80°c en la pantalla del PCU	○	■	▽	→	D	7 min	
22	Colocar la tapa del puerto de ignición	●	□	▽	→	D	30 seg	Es suficiente con un solo torque de mano, no se tiene que apretar totalmente
23	Incrementar la tasa de flujo de aire con el interruptor "AIR"	●	□	▽	→	D	5 min	hasta conseguir luces de la llama y esta flama sea conducida hacia el tubo de escape (exosto)
24	Esperar que empiece a salir humo por el exosto	○	■	▽	→	D	10 min	
25	Inspeccionar que el encendedor de la parte superior del exosto se encuentra encendido (brillante)	○	■	▽	→	D	1 min	El humo inicial puede contener grandes cantidades de vapor lo que puede dificultar la observación del encendedor
26	Inspeccionar que la ignición empezó escuchando un sonido como un rugido bajo	○	■	▽	→	D	2 min	
	Total	12	8	1	1	2	84.41min	

Las operaciones descritas en el diagrama de la tabla 12, son más que todo para el primer ciclo del día laboral, ya que procedimientos como agregar carbón y las múltiples esperas mientras se calienta el gasificador y llega a las medidas requeridas de presión y temperatura, son cuando la planta se enciende por primera vez después de un tiempo en el cual se enfrió por completo.

Los siguientes turnos del día, no tienen necesidad de realizar tantas esperas requeridas, ya que el sistema ha estado trabajando un tiempo y alcanza un estado estable con mayor facilidad, además la planta puede ser alimentada mientras trabaja, la única precaución a tener en cuenta es tener este sistema de gasificación o ignición apagado, ya que cuando está encendido genera vacío dentro de la tolva, así que para no generar problemas en el proceso ni percances por parte del operario esta parte del sistema debe estar apagada (no generando vacío), pero el otro sistema que compone la planta (sistema del motor) puede seguir funcionando mientras se realiza esta operación.

Como este procedimiento toma más tiempo solamente para el primer turno del día, se considera que el operario que esté desempeñando este debe ser contratado por 1 hora más, que los turnos que le siguen.

#### 7.6.2 Proceso del motor (Generación de energía eléctrica)

**Tabla 13: Diagrama de operaciones de planta gasificadora para el sistema de motor (Labs A. P., 2014)**

<b>Diagrama de flujo de proceso</b> Empresa : Palma de aceite del meta Proceso: Operación "Power Plant®" para iniciar el montaje del motor para generación y almacenamiento de energía eléctrica Diagramó: Johann Anchique Metodo: Actual						RESUMEN		
						ACTUAL		
							Numero	Tiempo
						○	5	2,40 minutos
□	2	2 minutos						
▽	0							
→	0							
D	3	24 minutos						
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>28,40 min</b>						
No	Actividad	○	□	▽	→	D	Tiempo	Observaciones
1	Esperar que alcance la temperatura ideal el gasificador	○				D	15 min	
2	Inspeccionar en la pantalla del PCU que los valores Ttred y Tbred esten dentro de los rangos	○	□	▽	→	D	1 min	Ttred: 750°C - 950°C Tbred: 675°C - 850°C
3	Cerra la válvula de gas de la llama del gasificador	●	□	▽	→	D	30 seg	
4	Abrir la válvula de gas del motor	●	□	▽	→	D	30 seg	
5	Apagar los interruptores de flujo de gas y de aire	●	□	▽	→	D	30 seg	
6	Encender el motor de la planta girando la llave del interruptor "ENGINE"	●	□	▽	→	D	40 seg	
7	Esperar que el motor encienda	○				D	2 min	
8	Cerciorarse que el motor encendio y empezo a funcionar	○	□	▽	→	D	1 min	
9	Esperar que el sistema se estabilize	○				D	7 min	Estabilizar se refiere a que el motor ya hubiese estado encendido por 5 min aproximadamente
10	Aplicar la carga generada por el motor hacia generador/almacenador de electricidad	●	□	▽	→	D	1 min	El generador tiene que estar previamente conectado a la planta (esto se realiza en la instalación)
	<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>28,4</b>	

El segundo sistema que compone la planta es el del motor, encargado de generar la electricidad que irá al generador. Al igual que el anterior sistema, después de realizar la primera corrida de la jornada laboral diaria serán más cortos los tiempos de espera de algunos procesos para los turnos siguientes.

La última operación la cual es aplicar la carga eléctrica generada hacia el almacenador de electricidad o caja eléctrica, se hace automáticamente si la planta tiene conectada alguna de estas dos opciones a su salida de voltaje, esta conexión se realiza en la instalación de la planta (la cual viene incluida y la realiza All power labs), por lo cual esta operación denominada como "aplicar carga" es solo asegurarse que la conexión de salida no presente ningún inconveniente.

Es importante aclarar que cada vez que se requiera apagar este sistema, se debe cerrar la válvula de paso de gas que viene desde el gasificador.

### 7.6.3 Proceso de mantenimiento, adecuación y limpieza.

Tabla 14: Diagrama de operaciones de planta gasificadora para mantenimiento preventivo, limpieza y adecuación al final de jornadas diarias (Labs A. P., 2014)

<b>Diagrama de flujo de proceso</b> Empresa : Palma de aceite del meta Proceso: Finalización de jornada laboral diaria "Power Plant®" Diagramó: Johann Anchique Metodo: Actual						RESUMEN		
						ACTUAL		
						Numero	Tiempo	
						10	18,03 minutos	
3	8 minutos							
0								
2	10 minutos							
4	26 minutos							
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>62.03 min</b>						
Nº	Actividad	○	□	▽	→	D	Tiempo	Observaciones
1	Girar la llave del interruptor del motor en posición de apagado	●					15 seg	
2	Esperar que el motor se enfríe.						10 min	
3	Colocar todos los interruptores den la unidad de control en posición de apagado	●					30 seg	
4	Esperar que el sistema de gasificación halla dejado de funcionar por completo						5 min	
5	Remover el contenedor de ceniza	●					1 min	El contenedor de ceniza se encuentra en la parte baja de la tolva de gasificación
6	Desplazarse hasta el sitio de disposición para las cenizas						5 min	
7	Vaciar los contenedores	●					5 min	
8	Volver a la planta						5 min	
9	Colocar los contenedores de ceniza vacios	●					5 min	
10	Encender el interruptor de "power" con la llave de motor en posición de apaqado	●					15 seg	Se realiza para preparar los extractores y la barrena arrastre alguna ceniza sobrante a los contenedores
11	Esperar encendido de PCU						1 min	
12	Encender el interruptor de aire para purgar el sistema	●					15 seg	Sin el sistema de gasificación encendido por ausencia de llama, el aire empieza a correr por el sistema sacandolo hasta el exosto, para remover gases remanentes en el sistema
13	Espera						10 min	Para que el aire recorra todo el sistema hasta el tubo de escape de este
14	Revisar los frascos de condensados del reactor y el motor		■				3 min	Se revisa que no contengan gases condensados, esto se puede medir mirando un indicador de nivel que se encuentra puerto al fondo del filtro de gas, en caso que el nivel no sea apropiado, se debe esperar mas tiempo que el sistema se purge
15	Revisar si la barrena arrastro mas ceniza al contenedor		■				2 min	en caso de que sí, es recomendable vaciar el contenedor de nuevo
16	Apagar el sistema totalmente con todos sus interruptores del puerto de control en posición de apagado	●					30 seg	
17	Abrir la tapa y sello de la tolva	●					5 min	
18	Revisar que no quede ceniza dentro de la tolva		■				3 min	Si encuentra ceniza dentro, se puede mover con una escoba hasta el hueco de la barrena que se encuentra en todo el medio de la tolva y prender el PCU y repetir la actividad No 15.
19	Colocar la tapa y sello de la tolva	●					7 min	
<b>Total</b>		<b>10</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>4</b>		

El diagrama mostrado en la tabla 14 corresponde a los procedimientos de mantenimiento preventivo, limpieza y adecuación que se debe llevar a cabo en la planta al finalizar la jornada, ya que al dejarla apagada, sin realizar estos procedimientos existe una posibilidad de ignición de la planta por los gases remanentes del proceso de gasificación. Así mismo es importante realizar el proceso de vaciado del contenedor de ceniza ya que si no se hace regularmente puede obstruir y averiar la planta, este proceso es recomendable realizarlo al finalizar cada turno (solamente el vaciado de cenizas), el resto de proceso que se refiere a purgado e inspección de la tolva es solo necesario al finalizar la jornada diaria laboral para tener lista la planta para el siguiente día de trabajo, por lo cual este proceso solo toma 62,03 minutos para la persona encargada de realizar el último turno de la jornada, los turnos restantes solo deberán hacer la operación de vaciado de cenizas, por lo cual estos solo tomarán 30 minutos aproximadamente, que son por la espera a que la barrena se detenga en su totalidad y el desplazamiento al sitio de disposición de las cenizas, no es necesario que el gasificador esté apagado para esto, pero es recomendable que se apague al finalizar cada turno para hacer este procedimiento. Puede ser retirado, obviamente con equipo de protección como guantes y anteojos para evitar alguna quemadura por tocar de manera accidental algunos de los componentes que se calientan en la tolva.

De esta manera se considera que si se trabaja en varios turnos, quien tenga el turno final de la jornada deberá estar por una hora más, que los anteriores turnos para realizar todos estos procedimientos mostrados en la tabla 14.

Para ejercicio de este proyecto se supondrá, que todos los operarios de cualquier turno desempeñaran los 3 procesos, la sumatoria de tiempos da un total de 174,84 minutos incluyendo las esperas, que equivalen a 2 horas con 55 minutos aproximadamente, los cuales el operario tiene que estar en frente de la planta a cargo de sus operaciones.

Se considera contratar al operario encargado por 6 horas, ya que contempla con amplitud el tiempo necesario, y además se tienen aproximadamente 185 minutos restantes en los cuales puede realizar el procedimiento de preparar la biomasa residual para su gasificación, y dejarla lista para que la persona del otro turno empiece a gasificar tan pronto llegue a la empresa. En el caso de solo utilizarla por 1 turno, se evaluará la alternativa de contratarlo por la jornada completa de 8 horas, ya que es el único operario que se encarga diariamente de la preparación de la biomasa, este utilizaría el final de la jornada para preparar la biomasa para el siguiente día, y comenzar así la jornada gasificando.

Las restantes 2 horas de una jornada legal (para los otros escenarios), puede realizar tareas relacionadas con la operación de la empresa como tal, por lo cual generará un ingreso para PAM directamente y no para el proyecto, así que solo se estimará el pago de 6 horas-hombre por jornada de 8 horas de trabajo de la planta.

La planta tiene un funcionamiento de entre 6 – 10 horas con una sola carga de biomasa, las 10 horas contemplan cuando la tolva está en su totalidad llena, esta tolva tiene una capacidad de 55 galones. (Labs A. P., 2014)

Tomaremos un escenario intermedio entre este rango, de funcionamiento continuo de 8 horas, lo que quiere decir, llenar la tolva al 75% de su capacidad máxima cada turno.

## 7.7 Alimentación del gasificador

Alimentar la planta es un proceso sencillo, debido que es depositar la biomasa dentro de la tolva, pero este capítulo se enfocará en los implementos necesarios para realizarla de manera adecuada y facilitar esta tarea al operario de una manera fácil de implementar y que genere la cantidad mínima de costos adicionales.

El primer factor a tener en cuenta para su alimentación, es que la tapa de la tolva (por donde debe depositar la biomasa), se encuentra en el punto más alto de la planta, quiere decir a 1,80 metros de altura.

El promedio de estatura en Colombia está por debajo de esta cifra, aparte de esto, el contenedor de la biomasa residual (cuesco y nueces) debería ser levantado en este caso por encima del operario si este mide menos de 1,80 m de estatura, por lo cual sería una tarea de carga física demandante, y también desgastante por la manera poco ergonómica de realizar esta operación representando en un futuro daños en los músculos de los operarios.

La solución más sencilla para desarrollar esta tarea, es levantar al operario a una altura mayor a esos 1,80 metros para que pueda simplemente verter el contenido de las canecas dentro de la tolva. Con esto el operador no tendrá necesidad de levantar pesos por encima de su cabeza.

Para lograr esto, se propone una escalera con plataforma, la cual permite al operario moverse con libertad y le brinda equilibrio y estabilidad suficiente para depositar la biomasa sin ningún riesgo, a diferencia de las escaleras normales, en las cuales debería pararse en un simple peldaño disminuyendo su movilidad y por ende la estabilidad.



**Ilustración 24: Escalera forma tijera con plataforma en aluminio propuesta. Fuente: Escaleras de Colombia**

Como se puede ver en la anterior ilustración, es una escalera con barandas, la cual permite tener puntos de apoyo al operario para subir por ella con la caneca cargada de biomasa, tiene forma de tijera, la cual brinda una base de 4 puntos, por lo cual no tiene necesidad de utilizar la propia planta como base de apoyo, y da más estabilidad que las escaleras normales de 2 puntos de base. Esta escalera resiste pesos hasta de 137 kg, lo cual es suficiente para resistir un operario y una carga de biomasa hasta de 30 kg.

El operario puede decidir cuantos viajes realizar dependiendo de cuanto le quede sencillo cargar hasta la tolva, se concluyó que con 20 minutos es suficiente para llenar hasta un 75 % de la tolva (41,25 galones). Ya que la idea es que el traiga desde el depósito de desechos todos los barriles que necesite para su turno, por lo cual solo necesita subir la escalera, depositar la biomasa y bajar la escalera para tomar el siguiente cargamento de biomasa el cual deberá estar ubicado al pie de la planta.

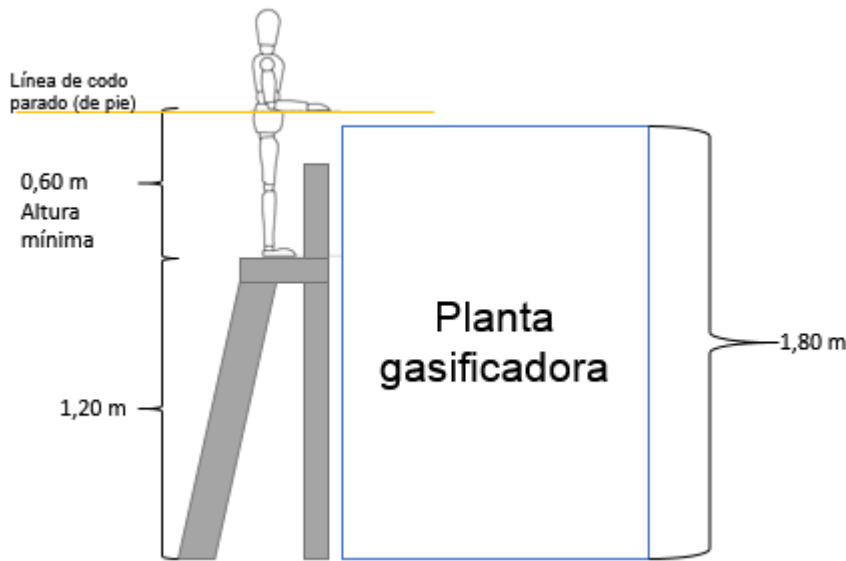
Se cotizó una escalera de 1,20 metros como se puede ver en el anexo 4, ya que se considera más que suficiente si se le adiciona la altura del operario, el cual vamos a suponer una altura promedio en Colombia, para este caso 1,72 metros. (hoy, 2014)

La altura de la línea del codo en posición de parado, es en promedio 1,08 metros, lo cual es más que suficiente, ya que sumando la altura de la escalera, esta línea de codo parado<sup>29</sup> debería ser mínimo de 0,60 metros para completar la altura total de la

---

<sup>29</sup> Altura desde los pies hasta el codo en posición parado

tolva de alimentación (1,80 metros), se representa en la siguiente ilustración para mayor claridad:



**Ilustración 25: Forma de alimentación + Estatura mínima de línea de codo parado (Autor, 2014)**

Al estar un operario sometido a trabajos de más de 1,50 metros de altura, se deben proteger con algún implemento de seguridad para trabajo en alturas.

Se cotiza así un Kit de Arnés marca Zubi-Ola de 4 argollas que incluye línea de vida, este kit es de fácil implementación ya que solo se debe enganchar una de las argollas a un punto de seguridad por si el operador llega a tener algún inconveniente y cae de la escalera.

Se propone ubicar la planta gasificadora junto de las calderas, las cuales se encuentran actualmente en la empresa PAM bajo una estructura metálica techada, sin paredes, lo que permite el escape de vapores y gases que generan las calderas.

La estructura tiene 4 metros de altura a dos aguas (la parte central de la estructura es más alta que los otros dos lados), una manera sencilla de instalar la línea de vida del arnés, es colocando una de las argollas en algún punto de la estructura metálica del techo, la cual puede soportar fácilmente el peso de una persona.

Tanto la línea de vida como el arnés deberán colgarse de manera perpendicular a la escalera, que es en la única parte donde el operario deberá colocárselo por su seguridad. Así que después de colocarse el arnés, el operario tomará cada una de las canecas (dependiendo del peso que pueda cargar, se sugiere que no más de 40 kg por recorrido por la capacidad de la escalera), y depositarlas dentro de la tolva. Repetir esta operación hasta depositar la biomasa suficiente para la jornada, después de esto, puede removerse el arnés debido que el resto de operaciones se realiza en el suelo.



## 7.8 Plan de instalación

Este capítulo busca proponer la mejor ubicación para la instalación de la planta gasificadora teniendo en cuenta: Los recursos con los que cuenta actualmente la empresa PAM para utilizarlos y generar la menor cantidad de costos adicionales por la adecuación de la ubicación, los requerimientos mínimos de ubicación que necesita la planta.

No se detendrá demasiado en la instalación eléctrica de la planta ya que el valor de la planta incluye la instalación en el sitio de uso por parte de ALL POWER LABS. Se incluye igualmente en el anexo 5 los diferentes tipos de conexiones (alambrado) que se puede utilizar con esta planta, para generar distintos voltajes de salida, ya que depende del país donde se instale y los voltajes que utilizan.

En Colombia a nivel industrial se utiliza 240 v para maquinaria pesada, y 120 v para maquinaria liviana, Power Plant® puede ser configurada para cualquiera de estos voltajes de salida y está regulada , estos voltajes son cuando no se tienen ningún tipo de conexión, pero cuando empieza con su funcionamiento, este voltaje puede caer hasta 220 v si se realiza una conexión en línea y 110 v si se conecta en fase respectivamente conectada en serie delta (anexo 5), como se mencionó anteriormente, esta configuración la realizan los técnicos de ALL POWER LABS, así como su cableado para el aprovechamiento de la electricidad generada.

PAM cuenta con varios tableros de distribución ya instalados en su planta de producción, así que la planta puede conectarse a uno de estos tableros ya existentes, simplemente retirando las 3 entradas de la empresa EMSA y se reemplazan conectando las salidas de la planta gasificadora.

Respecto a la adecuación del sitio donde se ubicará la planta, se utilizarán las instalaciones ya adecuadas con las que PAM cuenta actualmente y donde se encuentran ubicadas las calderas.

PAM tiene instaladas 2 calderas (150 HP y 250 HP) en las cuales incineran los desechos de afrecho que deja el primer proceso de extracción. Estas calderas están ubicadas bajo una estructura metálica techada (para cubrirlos de la intemperie) y sin paredes para permitir el escape de vapores y gases generados, el suelo es de concreto y estas son especificaciones suficientes para la instalación.



**Ilustración 26: Planta GEK instalada. Fuente: ALL POWER LABS (Labs A. P., 2014)**

La ilustración 26 muestra una planta GEK instalada en Puerto Rico y que lleva funcionando desde el 2013, las plantas GEK son otro de los productos ofrecidos por la empresa ALL POWER LABS, pero este es un gasificador a más pequeña escala, se tomó esta fotografía para evidenciar el sitio de instalación de esta planta, el cual tiene características similares a las descritas por la empresa PAM (se considera que la condición de las instalaciones de PAM son mejores por su suelo en concreto y su estructura metálica techada), por lo cual no debería representar ningún problema de instalación y confirmando así que la ubicación de las calderas no necesita de adecuaciones mayores que tengan que ser tomadas en cuenta.

Dentro de esta estructura se propone colocar la planta gasificadora al lado de las calderas posicionando la planta en la dirección que se muestra en la ilustración 27, el área de operación de la planta se refiere a la ubicación de la PCU (Process control unit), la pantalla del PCU y la unidad de control del sistema, así como de la ubicación de sus válvulas, este lado debe estar sin nada en frente que bloquee su fácil acceso y circulación, también el lado por donde se alimenta la planta y accede a los depósitos de ceniza no debe tener algún tipo de bloqueo, aunque actualmente PAM cuentan con espacio para ubicarla y no bloquear ninguno de sus lados, se hace esta distribución y aclaración en el caso que se cuente con un espacio limitado para instalar el puesto de trabajo.

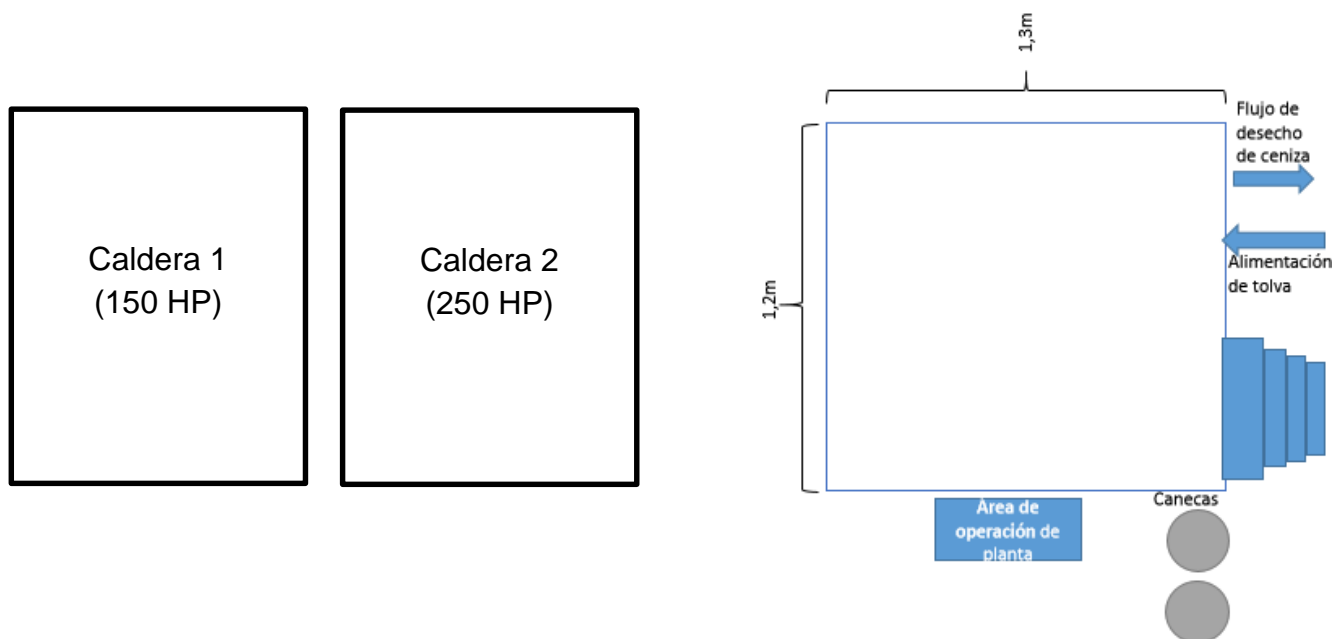


Ilustración 27: Distribución propuesta de instalación de la planta gasificadora

## 8 PROCEDIMIENTOS DE RE-UTILIZACIÓN

Actualmente PAM desecha 30 toneladas mensuales de biomasa residual generada en su proceso de extracción de aceite de palma, el proceso de recolección del fruto, también genera desechos, pero al no ser recolectados, medidos ni llevados hasta la planta (hojas de palma y racimos de frutos vacíos) este proyecto no se enfocará en ellos. También porque el proyecto está evaluando la implementación de solo una planta gasificadora, la cual a su máxima capacidad 24 horas al día consume 15,840 kg lo cual está muy por debajo de la cantidad que genera solo el proceso de extracción, así que sumarle también los desechos generados por el proceso de recolección, incrementaría la cifra de biomasa desechada, que igualmente no puede ser utilizada en su totalidad por solo una planta gasificadora.

Además los desechos de cuesco y nueces tienen un poder calorífico superior que el de las hojas, racimos de frutos vacíos y el mismo afrecho, lo cual representa una mejor capacidad de aprovechamiento energético.

Los residuos generados por la extracción de aceite de palma están divididos entre afrecho, el cual es el desecho de una de las extracciones; y el cuesco y nueces que son los desechos de la otra extracción realizada, como se mencionó anteriormente en capítulo de recolección de la biomasa residual, una parte de los desechos del afrecho se utiliza actualmente como combustible de unas calderas que tienen implementadas en PAM, el sobrante lo desechan con la totalidad de residuos biomásicos de cuesco y nueces, y esta cantidad es la que han medido, resultando en un promedio de 30 toneladas mensuales.

Los cuales se discriminan en 15 % perteneciente a los residuos de afrecho y 85% de las nueces y cuesco. Para la extracción del aceite palmiste, la empresa PAM tritura y después prensa estos granos de cuesco y nuez más pequeños, lo cual hace conveniente el uso de estos dos desechos específicamente, debido a que para su utilización en la planta gasificadora, deben tener un tamaño de grano de dimensiones 1" x 1" o menor.



**Ilustración 28: Procedimiento de verificación de tamaño de grano. Fuente: ALL POWER LABS**

A diferencia del desecho de afrecho, el cual no trituran, simplemente lo desbarban para quitar las fibras exteriores que tiene el pericarpio, y prensan después junto con la pulpa. El tamaño de grano del afrecho es mucho mayor que el requerido por la planta gasificadora propuesta por lo cual necesitaría de más procedimientos para ser utilizada, como ser triturada para disminuir el tamaño de grano y también de otro procedimiento adicional para remover las fibras remanentes en el pericarpio, aunque en su mayoría son retirados en el proceso de desbarbado, puede quedar una que otra fibra.

Las de nueces y cuesco, además de ser sometidos al proceso de trituración, lo cual beneficia aún más su uso para gasificar, facilitando su implementación. Se generan 25,500 kg (85%) mensuales de esta biomasa residual aproximadamente, lo cual es más que suficiente para la alimentación diaria de la planta a su máxima capacidad de trabajo, por las razones anteriormente nombradas y su gran capacidad calorífica, el proyecto se enfocará en el uso de estos dos desperdicios.

PAM almacena todos estos desechos en una bodega techada, lo hacen para dejarlos secando (aunque no es necesario) para su utilización en calderas, hablando específicamente del afrecho, pero almacenan también el cuesco y las nueces residuales ya que se deshacen de ellos con una periodicidad de 2 veces a la semana, pero igualmente almacenan en el mismo sitio el cuesco y las nueces

residuales mientras llega el día de transportarlos fuera de la fábrica. Como se mencionó en capítulos anteriores, se necesita re-plantear este proceso con la gerencia para que procure almacenar por lo menos 15,840 kg mensualmente, los cuales igualmente no estarán estáticos en su bodega de almacenamiento, ya que estarán rotando diariamente para su gasificación.

El producto resultante del proceso de gasificación son cenizas de carbón, de las cuales se puede utilizar, un porcentaje de estas como medio filtrante, pero el resto debe ser desechado de no encontrarse otra aplicación práctica para ellas en la empresa, para aprovechar en la totalidad los recursos que ya tienen implementados la empresa PAM y no generar costos adicionales, se utilizará el mismo procedimiento que tienen en la actualidad para desechar la biomasa de su proceso de extracción de aceite, para ubicar esta ceniza resultante en un lugar adecuado como los basureros en los que ellos depositan sus desperdicios biomásicos, sin incurrir en costos extras ya que ocuparían el espacio (el cual es mucho menor) que ocupa actualmente los desechos de cuesco y nueces residuales.

Para re-utilizar adecuadamente esta biomasa se debe realizar el proceso de comprobación de tamaño de grano de estos desechos, como se muestra en la ilustración 28, la manera más sencilla es tomar una malla metálica con la dimensión requerida para realizar una operación de filtrado y a su vez de comprobación. El filtrado es para separar los fragmentos biomásicos que su tamaño sea mayor a 1"x1" (2,5cm x 2,5cm de dimensión), ya que estos aunque también se pueden gasificar, necesitarían de más energía para calentarlos por su mayor masa.

Debido a que esta tarea puede ser dispendiosa de realizar en la forma que se muestra en la ilustración 28 (con una mano sostener la malla y con la otra verter la biomasa), se propone una alternativa sencilla y fácil de adaptar. Se puede visualizar a continuación un modelo básico propuesto, diseñado por el autor del proyecto, es importante resaltar que si la empresa PAM ya tiene un procedimiento para realizar esta tarea no es necesario implementar el uso de esta herramienta.



**Ilustración 29: Montaje metálico propuesto para la verificación de tamaño de grano (Autor, 2014)**

Este montaje está compuesto por 2 bases metálicas en forma de U o pueden ser cuadradas también, estas bases sostienen una malla metálica de acero inoxidable

que forman 2 capas, para realizar de manera más precisa la comprobación de dimensiones, sometiendo a los granos a una doble medición. Estas bases tienen una altura de 1,20 m, esto para ubicar una o dos canecas plásticas debajo de las mallas, cada una de estas canecas tienen una altura de 90 cm.

El procedimiento propuesto es sencillo, simplemente tomar una pala, y depositar la biomasa residual de cuesco y nueces encima de la malla, la gravedad ayudará a filtrar hacia las canecas, los granos que ya son óptimos para el proceso de gasificación. Después de cierta cantidad depositada encima, puede que la gravedad no sea suficiente para que los granos descendan por las mallas, por lo cual el operario deberá agitar las bases metálicas un poco para ayudar así el paso del material adecuado.

Como se mencionó en capítulos anteriores, el operario que maneja la planta, tendrá 3 horas para realizar este proceso, lo cual se considera suficiente, teniendo en cuenta que la biomasa residual de cuesco y nuez fue previamente triturada para la extracción del aceite, el proceso se realiza solo para eliminar aquellos granos que sean demasiado grandes (más de 1"x1") que pueden resultar de este proceso de trituración, que aunque lo realiza una máquina, puede que tenga una pequeña variabilidad en los tamaños de granos resultantes. Aunque en su mayoría, al finalizar el proceso de extracción están promediando entre  $\frac{1}{2}$ " – 1" de dimensiones.

Si la variabilidad de esta máquina aumenta, por algún fallo, y los granos empiecen a resultar en su mayoría de mayor tamaño que el requerido, se puede evaluar el hacer una segunda pasada de estos desechos nuevamente por el proceso de trituración únicamente cuando esta máquina este fuera de operación (esperando el primer cargamento de frutos del día).

Cada uno de los operarios del gasificador debe encargarse de suministrar al menos 44 galones de biomasa residual a diario, en el caso que solo se haga 1 turno de 8 horas con un solo empleado, este se le contratará la jornada completa ya que sería el único que realiza este procedimiento de comprobación.

Cada caneca plástica tiene una capacidad de 30 galones, por lo cual en cada jornada de 3 horas, cada uno de los operarios deberá encargarse de comprobar el tamaño de la biomasa hasta llenar 1 caneca y la otra hasta la mitad de su capacidad.

Se propone entonces realizar el procedimiento de gasificación y generación eléctrica apenas empiecen la jornada, estos procedimientos tardan 1 hora con 50 minutos aproximadamente, después de esto disponer de las 3 horas siguientes para hacer los procedimientos de re-utilización de la biomasa, lo cual no es más que filtrarla y dejarla empacada en las canecas, se hace en este orden para que dejen listo las 2 canecas que necesitan por turno, puede ser utilizada por el operario del siguiente turno o por el mismo operario que realizó la tarea para utilizarla al día siguiente. La idea de este cronograma laboral se realiza para que cada uno de los operarios

empiecen su respectiva jornada gasificando, por lo cual deben tener listos al menos 44 galones de biomasa residual para poder comenzar.

Cada una de estas canecas tiene un costo de \$45.000, se considera que 4 son suficientes, sin tener en cuenta que PAM puede tener varios de estos implementos que se pueden utilizar para almacenar y transportar esta biomasa dentro de la misma fábrica de procesamiento.

La filtración se llevará a cabo con una malla zaranda diagonal recubierta, es fabricada por la empresa COLMALLAS S.A.

Se realizó la cotización vía telefónica a través de un filial minorista de Colmallas S.A. llamada "Compañía ferretera Diangeos y mallas", se cotizó una malla zaranda de 1 pulgada x 1 pulgada cada hueco, de dimensiones 90 cm x 4 m para realizar la doble capa, con un valor de \$11,600 más IVA. Cada una de las bases tiene un valor de \$46,000 más IVA en la misma compañía, ellos mismos ofrecen el servicio de soldadura para realizar el montaje. Todos estos valores se transferirán al flujo de caja del proyecto dentro de los valores de implementos.

El cuesco presenta fibras, pero que son demasiado cortas que son difíciles de observar, esto no representa un problema para la planta debido que estas fibras tan pequeñas no se separarían con facilidad del cuesco. Diferente a las cáscaras del pericarpio, las cuales contienen las fibras exteriores de una longitud apreciable y se pueden desprender con facilidad de la cáscara. Estas fibras, si están sueltas y son introducidas de esa manera en el gasificador, pueden ser absorbidas por los extractores de aire e impulsadas por las corrientes de gas dentro del sistema, dejando una posibilidad de obstrucción de las vías de flujo de aire y gas, descomponiendo de esta manera la planta.

Esta última razón es por la cual el proyecto buscará enfocarse en el uso del cuesco (por sus fibras despreciables que no se separan de la cáscara interna por su pequeño tamaño) y las nueces, las cuales no presentan las fibras que tiene las cáscaras, ya que el uso del afrecho requeriría un proceso adicional para remover las fibras remanentes del proceso de desbarbado, necesitando de más tratamientos dispendiosos para la utilización de esta biomasa residual.

## **9 INVERSION Y COSTOS DEL PROYECTO**

### **9.1 Inversión inicial (Costo "Power Plant®")**

"All power labs" es una compañía que diseña, ingenia y manufactura plataformas energéticas de gasificación de biomasa. Dentro de sus colaboradores se encuentran desde recolectores fabricantes de basuras, científicos entrenados e ingenieros,

logrando una combinación de arte/tecnológico de California con técnicas de Stanford y el MIT.

Sus laboratorios y planta de producción están ubicadas actualmente en Berkeley, California. Llevan 5 años en la fabricación de equipos e investigación del uso renovable de la biomasa, y cuentan con 35 colaboradores que desempeñan diferentes tareas, desde ensamble de las plantas hasta la investigación de nuevas técnicas de aprovechamiento.

Esta compañía se encuentra con facilidad en medios como internet, y es la única que tiene todo un canal de comercio de este tipo de plantas en específico, por lo que en la actualidad son los únicos que hacen ventas al público en general de este tipo de equipos para que puedan ser fácilmente ensamblados y funcionen como una maquina más en las compañías donde se instale. El resto de plantas que se pueden encontrar y que desempeñan las mismas operaciones son universidades o grupos de investigación que hacen consultorías en el tema, incluyendo estas opciones el costo de la consultoría y equipos utilizados.

All Power Labs vende esta planta en conjunto y lista para operar, solo se debe adicionar al costo de este, algunos implementos necesarios para su funcionamiento, que pueden ser conseguidos con facilidad en el mercado.

Aparte de todo lo anteriormente nombrado, esta compañía ofrece envió directo a la locación que se necesite, así mismo como su instalación en dicha ubicación y una capacitación para la operación de la planta.

Como se puede ver en el anexo 3, el precio inicial de "Power Plant®" está actualmente en 39,990 USD, este precio incluye toda la planta con sus equipos y la instalación directamente en el sitio donde vaya a ser utilizado.

También incluye un entrenamiento para hasta 3 operarios, para que sepan todos los procedimientos, mantenimiento y posibles problemas que pueda generar la planta, el precio también incluye un controlador de red para todo el sistema.

La cotización del envió se realizó con la empresa BEMEL, la cual hace este tipo de importaciones, se trabajó con el INCOTERM Ex-works, (correspondiente a la cotización recibida) lo que quiere decir que ALL POWER LABS coloca la mercancía a disposición en sus laboratorios en Berkeley, California.

La cotización vista en el anexo 6, se encuentran todos los costos de los que se hace cargo PAM como comprador, en este anexo se encuentran todas las cuentas discriminadas, por lo que podemos ver que esta adicionado a este valor total gastos como los de nacionalización y seguros mínimos requeridos para mayor seguridad en su transporte, es importante aclarar que este anexo cotiza transporte multimodal, es decir, evalúa los costos por medio marítimo de Berkeley – Cartagena, que sería el



puerto nacional de llegada de la planta, y después cambia a transporte terrestre hasta Cumaral, el cual es la ubicación final de la planta y donde se encuentra la empresa PAM.

Estas inversiones así como de otras necesarias se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 15: Inversión inicial adquisición "Power Plant®" (Autor, 2014)**

	US Dólares	COP
Costo Planta (Entrenamiento- instalación en sitio-)	\$ 39.990	\$ 78.054.482
Envío California - Cúmaral		\$ 36.656.088,12
Gastos de gestión de envío	\$ 250	\$ 487.963
Gastos indirectos (implementos)		\$ 929.929
<b>Total inversión inicial</b>		<b>\$ 116.128.461</b>

La tercera fila (Gastos de gestión de envío), es un costo adicional que los laboratorios adicionan por la preparación de todos los equipos para su envío, ya que mandan la planta desarmada y empacada en varios embalajes para la protección de los equipos, ya que algunos de ellos son delicados.

La cuarta fila que incluye los gastos indirectos, se refiere a todos los implementos de la lista de accesorios necesarios para el manejo de la planta, y que solo se tienen que comprar una vez (arnés, rastrillo, canecas, etc), a diferencia de otros ítems de la lista que son consumibles (gasolina, aceite, filtro de aire, etc) y tienen que irse comprando periódicamente con el uso de la planta por su misma característica consumible.

La cifra en pesos que se encuentra en amarillo es la inversión inicial total que toca realizar para comprar y traer la planta hasta el sitio de operación, la mayoría de estos gastos son directamente pagado a los laboratorios "All power Labs" por lo que la cifra fue entregada en dólares, para hacer la conversión en pesos se utilizó un promedio del valor de la TRM, el cual intenta seguir el comportamiento actual de este valor, aunque por ahora presenta un comportamiento decreciente, el valor utilizado para el estudio de este proyecto es de \$1951,85 COP, aunque este valor así como todo las cifras del estudio del proyecto no están exentas de cambios, ya que este costo de inversión inicial depende netamente de la fecha en que se haga esta compra.

Este valor de TRM fue consultado en la página del Banco de la república.<sup>30</sup>

<sup>30</sup> (republica, 2014)

## 9.2 Costos de operación

Para su adecuado funcionamiento se debe contratar un operario que se encargue de las tareas de preparar el cuesco para su utilización, alimentar la planta con biomasa cada vez que se necesite, operar la planta, limpiar los residuales generados y realizar el mantenimiento.

Para operar la planta solo se necesita de una persona, y la operación para poner a funcionar la planta solo tarda unos minutos, casi todo el tiempo la planta funciona sola haciendo su proceso de gasificación y posterior generación eléctrica, el operario solo debe de estar para el inicio del ciclo, alimentar el toldo con biomasa y poner a funcionar todos los equipos de la planta para empezar el proceso.

Por lo anteriormente mencionado, una fracción del tiempo el operario no necesita estar manejando la planta, ya que solo debe esperar que la biomasa se gasifique o que el motor empiece a generar energía, por lo cual, en ese tiempo un operador puede ir desempeñando otras funciones ajenas, mientras “Power Plant®” termina su ciclo.

Se determinó que con 6 horas, ósea la mayor parte de un turno normal de 8 horas, es más que suficiente para que el operador de la planta aliste la biomasa a utilizar y haga todas las operaciones mencionadas al principio, por lo cual el cálculo de este costo se hará sobre las horas hombre necesarias nada más, que es el costo directo que afecta al proyecto.

En la siguiente tabla se muestra el cálculo salarial para un operador de la planta:

Tabla 16: Calculo factor salarial (Autor, 2014)

Salario			
Item	Descripción	\$	%
A	Salario básico	\$ 800.000	100%
B	Prestaciones Sociales	\$ 199.280	20,91
	Cesantias	\$ 66.640	8,33
	Intereses sobre cesantias	\$ 640	0,08
	Prima	\$ 66.640	8,33
	Vacaciones	\$ 33.360	4,17
	Dotaciones ( Estan ya previstas dentro de los accesorios de la planta)	\$ 32.000	4
C	Sistema de seguridad social integral	\$ 178.000	22,25
	Salud	\$ 68.000	8,5
	Pensiones	\$ 94.000	11,75
	ARP	\$ 16.000	2
D	Otros	\$ 72.000	9
	Sena	\$ 16.000	2
	ICBF	\$ 24.000	3
	Caja de compensación familiar	\$ 32.000	4
	Subtotal B+C	\$ 345.280	43,10%
E	Total salario basico + Factor Prestacional	\$ 1.249.280,00	125,16
	Salario Anual	\$14.991.360,00	

El salario básico se obtuvo de un promedio de lo que se paga actualmente a los operarios de máquinas en la empresa PAM, este salario también puede cambiar debido a que este salario básico se negocia entre el empleado y el empleador, pero normalmente en la actualidad, ronda por los \$800.000.

Después de cálculo de todos los parafiscales nos da el salario mensual que se le pagaría a este operario, se utilizó este dato para calcular el costo las horas hombre de este operario.

Tabla 17: Costo hora-hombre y valor anual del salario (Autor, 2014)

	US Dólares	COP
Costo Planta ( Entrenamiento- instalación en sitio-)	\$ 39.990	\$ 78.054.482
envió California - Cúmaral		\$ 36.656.088,12
Gastos de gestión de envío	\$ 250	\$ 487.963
Gastos (implementos)		\$ 929.929
<b>Total inversión inicial</b>		<b>\$ 116.128.461</b>

Con el valor de hora-hombre que se obtuvo se calculó cuanto se le pagaría mensualmente, trabajando 6 horas en la planta por día, exceptuando el escenario de trabajo de 8 horas diarias, ya que se considera que al ser el único operario que tienen que realizar los procedimientos de re-utilización de la biomasa se le contratará por la jornada completa de 8 horas. El resto de valores que aparecen en la tabla 16 corresponden al cálculo que se realizó para los distintos escenarios que se van a utilizar para el estudio de este proyecto, los cuales se explicaran más adelante.

### 9.3 Gastos

Para el adecuado funcionamiento de la planta, se necesitan algunos elementos para facilitar el trabajo, así mismo como de insumos para los procesos térmicos que debe llevar a cabo la planta e implemento de seguridad, estos ya fueron mencionados anteriormente como los accesorios e implementos de seguridad.

La siguiente tabla muestra las cotizaciones de estos implementos, la cual se realizó a través de internet por medio de páginas como Homecenter.

**Tabla 18: Cotización de implementos e insumos (Autor, 2014)**

Ítem	Precio
Bandeja de metal	\$ 25.000
Lentes de protección	\$ 4.900
Protección de oídos	\$ 29.500
Extintor 20 lbs multipropósito	\$ 58.000
Cabeza de soplete de mano	\$ 64.000
Gas butano - Lata	\$ 7.900
Guantes	\$ 17.950
Llave de 13 mm	\$ 29.700
Rastrillo	\$ 15.900
Fluido de ignición (galón acpm)	\$ 8.179
Destornillador cabeza phillips	\$ 10.900
Juego llaves allen	\$ 5.900

Aceite de motor 1 lt	\$ 82.900
Líquido refrigerante 1lt	\$ 13.900
Batería para autos 12v	\$ 14.000
Cartucho filtro de aire	\$ 13.900
Bolsas de carbón	\$ 3.900
Arnés de seguridad	\$ 239.900
Canecas contenedoras	\$ 180.000
Parrilla de comprobación	\$ 103.600
Total	\$ 929.929

Los gastos tanto de mantenimiento como operativos se tienen contemplados en la sumatoria total.

El total de gasto la primera vez que debe de hacerse es de \$ 929.929 , para el flujo de caja se pasó este valor a anual, y se también se calculó para cada uno de los escenarios, ya que depende de las horas en que esté en funcionamiento la planta y cuantos ciclos complete en un día.

Algunos de estos valores anuales se determinaron gracias a la tabla de mantenimiento que se puede encontrar en los anexos 2. Implementos como los líquidos refrigerantes, de ignición, aceite, filtro de aire, gas butano y carbón se determinaron cuanto se necesitaría de cada uno de ellos dependiendo de las horas diarias de funcionamiento de la planta, ya que a mayor tiempo de funcionamiento, mayor de estos insumos va a necesitar. Esta tabla nos entrega el número de ciclos u horas a la cual debe ser cambiado cada uno de estos implementos.

Los implementos de seguridad para el operario, en todos los escenarios se mantuvo igual, ya que solo se tuvo en cuenta el periodo de 4 meses legales a los que se debe cambiar estas dotaciones.

El resto de implementos como llaves, rastrillo y bandeja metal, se mantuvieron iguales en cada uno de los escenarios debido que no tienen un desgaste importante y pueden durar bastante tiempo.

Tabla 19: Cálculo de gastos anuales de ítems consumibles por la planta

Item	Gastos 24h	Gastos 8 h	Gastos 16 h
Bandeja de metal	x	x	x
Lentes de protección	\$ 44.100	\$ 14.700	\$ 29.400
Protección de oídos	\$ 265.500	\$ 88.500	\$ 177.000
Extintor 20 lbs multipropósito	\$ 58.000	\$ 58.000	\$ 348.000
Cabeza de soplete de mano	x	x	x
Gas butano - Lata	\$ 31.600	\$ 15.800	\$ 31.600
Guantes	\$ 161.550	\$ 53.850	\$ 107.700
Llave de 13 mm	x	x	x
Rastrillo	x	x	x
Fluido de ignición (galon acpm)	\$ 57.253	\$ 32.716	\$ 40.895
Destornillador cabeza phillips	x	x	x
Juego llaves allen	x	x	x
Aceite de motor 1 lt	\$1.658.000	\$ 994.800	\$1.409.300
Líquido refrigerante 1lt	\$ 69.500	\$ 41.700	\$ 55.600
Batería para autos 12v	x	x	x
Cartucho filtro de aire	\$1.598.500	\$1.112.000	\$1.251.000
Bolsas de carbon	\$ 312.000	\$ 156.000	\$ 234.000
Arnes de seguridad	x	x	x
Canecas contenedoras	x	x	x
Parrilla de comprobación	x	x	x
	\$4.256.003	\$2.568.066	\$3.684.495

El otro insumo utilizado para el funcionamiento de la planta es la biomasa, es cuál es el eje principal, ya que será el que producirá la energía, como esta planta va ser instalada directamente en la fábrica de extracción, y todo el cuesco residual se encuentra allá, así que se ignora un valor de este ya que es gratuito y le pertenece a la empresa.

Así pues el cálculo anual del valor de los gastos dependiendo de los escenarios se puede ver en la tabla 20

Tabla 20: Costo anual de implementos e insumos según horas diarias de trabajo (Autor, 2014)

Gastos 8h	\$ 2.568.066
Gastos 16h	\$ 3.684.495
Gastos 24h	\$ 4.256.003

Para ahorrar dinero en los costos y gastos indirectos del proyecto como asesorías y supervisión del trabajo de la planta, se plantea re-asignar tareas por parte de los ingenieros y supervisores ya existentes en la nómina de la empresa PAM.

Actualmente los supervisores de planta son los mismos jefes de mantenimiento, así que se le puede re-asignar las tareas al supervisor encargado del área de calderas, para que se encargue también de la supervisión de los operarios y la planta gasificadora.

Así mismo con la las asesorías de ingenieros, debido que la empresa PAM cuenta actualmente en planta con ingenieros, se plante que al menos 1 de ellos esté presente en las capacitaciones de manejo e instalación de la planta para que pueda dar asesorías en un futuro a los operarios, de ser necesario.

Es importante que el ingeniero que reciba la capacitación tenga un buen manejo de inglés, debido que la empresa PAM cuenta con un departamento de servicio de asesoría post-venta de manera remota, es decir ellos envían la solución con instrucciones detalladas para reparar los inconvenientes que se presenten con la planta, pero al ser todo el staff de sus laboratorios americanos, la comunicación por correos y teléfono con ellos se realizan en inglés, aunque algunos de ellos manejan el idioma español, por seguridad es mejor tener alguien en la empresa PAM que tenga fluidez del inglés por si alguno de los traductores de ALL POWER LABS, no se encuentran (fuera de jornada laboral, realizando instalaciones y capacitaciones en otros países, vacaciones)

## 10 BENEFICIOS ECONÓMICOS DEL PROYECTO POR AHORRO ENERGÉTICO

La finalidad de este proyecto reside en el uso de la planta “Power Plant®” para que las empresas del sector palmero puedan generar su propio abastecimiento de energía eléctrica, a partir de sus residuos biomásicos los cuales actualmente se desperdician. Por este auto-abastecimiento de una porción de toda la energía eléctrica que necesita la empresa, se ahorran este costo de servicio que tienen que pagar por los “kWh” utilizados para su operación.

Para definir este beneficio económico se tuvieron en cuenta varios datos, en primer lugar cuanta biomasa residual genera la empresa “PAM”, ya que este proyecto no es viable si la cantidad de este desecho es bajo y no alcanza para completar por lo menos 8 horas de trabajo continuo.

Para el cálculo de la biomasa necesaria para completar las horas de trabajo se tuvo en cuenta la proporción de consumo de biomasa por hora mencionado en el estudio técnico de la planta (22 kg/hora).

Tabla 21: Datos utilizados para el cálculo del beneficio económico (Autor, 2014)

Variable	Cantidad	Unidad
valor kWh (EMSA)	348	Pesos
Cuesco residual Generado mensual	30.000	Kg

Consumo power plant (por hora)	22	Kg
Electricidad generada power plant (por hora)	18	kWH

El valor del kWh que se encuentra en la tabla 21 y está resaltado, es el cargo actual del kWh que cobra la empresa de energía EMSA (electrificadora del Meta), se tuvo en cuenta el precio de esta empresa en particular debido a la ubicación de “PAM”, que se encuentra en Cumaral, que pertenece al departamento del Meta, y es EMSA quien le suministra la energía consumida actualmente.

Aunque la salida de la planta es 20 kWh en un 75 % de su capacidad, se realizará el estudio con una salida de energía más conservadora debido a la falta de investigación de este tipo específico de biomasa residual, por eso se manejará una generación de 18 kWh.

Este valor fue consultado en las tarifas de EMSA<sup>31</sup> para el 2014 de acuerdo a la categoría de la empresa “PAM”, la cual se encuentra alimentada a 34,5kV y eso la clasifica dentro del nivel 3, para esta categoría la tarifa es de \$348 por kWh.

La empresa “PAM” genera aproximadamente 30 toneladas de residuos biomásicos del coco o fruto de la palma de cera, lo cual es más que suficiente, como muestra la tabla 22.

Tabla 22: Beneficios Económicos del proyecto (Autor, 2014)

	(8h/día)	(16h /día)	(24h /día)
Electricidad generada(kWh/día)	144	288	432
Consumo de biomasa power plant (Kg/día)	176	352	528
Consumo de biomasa power plant (kg/mes)	5280	10560	15840
Ahorro de energía generado (COP/día)	\$ 50.112	\$ 100.224	\$ 150.336
Ahorro de energía generado (COP/mes)	\$ 1.503.360	\$ 3.006.720	\$ 4.510.080
Ahorro de energía generado (COP/año)	\$ 18.040.320	\$ 36.080.640	\$ 54.120.960

Teniendo el valor del kWh que paga actualmente la empresa “PAM” y la energía eléctrica generada por hora por la planta, se hace un cálculo básico para saber el ahorro de dinero que tendría la empresa si implementa el proyecto.

<sup>31</sup> (Meta E. d., 2014)



También se puede ver que así la planta trabaje 24 horas al día, el consumo de biomasa mensual sería de 15.840 kg, los cuales están dentro del rango de 30 toneladas que están generando actualmente.

El cálculo del ahorro se realizó teniendo en cuenta la situación si la planta está en funcionamiento 8, 16 o 24 horas al día.

## **11 DEFINICIÓN DE ESCENARIOS (ALTERNATIVAS DE MANEJO)**

Se formulará y evaluará 3 posibles alternativas que tienen de diferencia entre sí, las horas de manejo activo que tenga la planta a diario.

La empresa “PAM” tiene un funcionamiento de 24 horas diarias que dividen en 3 turnos o jornadas, y trabajan todos los días de la semana

El primer escenario es una jornada laboral de 8 horas, en la cual la planta estará en funcionamiento solo por ese intervalo de tiempo, en este escenario se contrataría solo un operario el cual haga todo los procedimientos necesarios en las 8 horas de esta jornada. Ya que como se mencionó en capítulos anteriores, al ser el único que aliste la biomasa para su re-utilización se considera que necesita de más tiempo para llenar los contenedores necesarios para la alimentación de la planta.

El segundo escenario contempla el funcionamiento de la planta por 16 horas diarias, para este escenario se contrataría 2 operarios que trabajaran en turnos separados, cada uno 8 horas. Para mantener así funcionando la planta por las 16 horas continuas.

El tercer escenario es el funcionamiento de la planta por 24 horas al día, para este escenario se contrataría 3 operarios, los cuales se turnan en la misma manera mencionada en el segundo escenario hasta completar 3 turnos diarios.

## **12 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD FINANCIERA**

Se realizará a continuación el estudio de viabilidad financiera del proyecto, el cual es la implementación de la planta gasificadora “Power Plant®” en la empresa “PAM” de extracción de aceite de palma. Para este estudio se tuvieron en cuenta varias situaciones expresadas por la empresa PAM, con información suministrada por ellos, así como todos los datos de costos y beneficios, los cuales se explicaron en capítulos anteriores de este proyecto.

### **12.1 Financiamiento del proyecto**

La empresa "PAM" expreso su interés por el proyecto, pero al ser muy alto el costo de la inversión inicial para ellos, se debe recurrir a créditos bancarios para obtener el monto monetario necesario para la inversión.

No pedirían un crédito por toda la totalidad de esta inversión, debido que pueden aportar un porcentaje de esta suma, de su propia cartera. Definiendo así que, estarían en capacidad de pagar el 20 % de la inversión inicial del proyecto, el cual es el costo más alto, ya que "PAM" si tiene la capacidad de pagar los costos y gastos de operación que son montos muchos menores comparados con el de la inversión inicial.

Para el estudio del proyecto se tomó de base la tasa de interés del BANCO POPULAR S.A., la cual es una de las más bajas del mercado para créditos comerciales, con una tasa de interés del 9,33% efectiva anual para préstamos entre 1096 y 1825 días de plazo, en el más reciente informe como lo presenta la Superintendencia Financiera.<sup>32</sup>

Se realizó así una cotización de este crédito con el gerente de la sucursal del Restrepo, quien informo que el estudio de crédito, en su banco tiene un costo de \$46.000 que se pagan cuando el banco deposite el dinero, este pago se hace solamente una vez ya que este estudio se realiza solo al principio de la solicitud del crédito. Este valor se sumó en el flujo de caja en el año 1, para ser pagado por capital propio de la empresa al ser un monto menor.

El préstamo a solicitar sería el restante 80% del valor de la inversión inicial, es decir \$92.902.768,90 COP.

En el caso de que ningún banco realice créditos por ese monto a la empresa, se puede contar también, con la posibilidad de algún tipo de fondo de financiamiento, como los que realiza FINAGRO, debido que esta asociación ayuda a las empresas del sector agropecuario con financiamiento dentro de alguno de los ítems que ellos solicitan para adquirir un crédito, dentro de estos ítems se encuentra el desarrollo tecnológico, lo que aplica directamente a este proyecto.

FINAGRO desembolsa el dinero al banco que sea elegido por la empresa y cobra de interés el valor del DTF + 10%<sup>33</sup>.

Pero como se mencionó anteriormente se trabajara en el proyecto con la tasa que maneja el BANCO POPULAR S.A., por su mayor facilidad de pago de la deuda debido a sus bajos intereses.

Para calcular el valor de las cuotas anuales que deben de realizarse para el pago de este crédito, se utilizó la siguiente formula:

---

<sup>32</sup> (Superfinanciera, 2014)

<sup>33</sup> (Hidalgo, 2014)

$$C = P \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Donde “C” es el valor de la cuota, “P” el monto del prestamos, “i” la tasa de interés y “n” el número de cuotas en que se servirá el crédito. (Chaín, 2007)

Después de evaluar esta fórmula con varios periodos, se concluyó que las cuotas serían amortizables de manera fácil en un periodo de 5 años. Se reemplazó todos los datos anteriormente mencionados dejando un valor de cuota de \$24.089.459 COP anuales. Con esto se realizó una tabla de pagos mostrada a continuación:

Tabla 23: Tabla de pagos del préstamo (Autor, 2014)

Deuda	Cuota	Interés	Amortización
\$ 92.902.769	\$ 24.089.459,83	\$ 8.667.828	\$ 15.421.631,49
\$ 77.481.137	\$ 24.089.459,83	\$ 7.228.990	\$ 16.860.469,71
\$ 60.620.668	\$ 24.089.459,83	\$ 5.655.908	\$ 18.433.551,53
\$ 42.187.116	\$ 24.089.459,83	\$ 3.936.058	\$ 20.153.401,89
\$ 22.033.714	\$ 24.089.459,83	\$ 2.055.746	\$ 22.033.714,28

En la última columna se encuentra el monto de las amortizaciones anuales a realizar por el préstamo con la tasa de interés del BANCO POPULAR, son 5 pagos debido a que se determinó conveniente ese número de periodos, así mismo se encuentra en la penúltima columna el valor a pagar por los intereses sobre la deuda.

## 12.2 Calculo de la tasa WACC (Weighted Average Cost of Capital)

Para obtener la tasa de costo de capital es fundamental contar con el tipo de financiamiento que se va a realizar, de presentarse algún tipo de financiamiento externo a la empresa, para el caso de “PAM”, la proporción de la deuda será 80% préstamo bancario y 20% con recursos propios de la empresa.

La fórmula utilizada para el cálculo de la tasa WACC fue la siguiente:

$$WACC = Kd \left( \frac{D}{D+C} \right) + Ke \left( \frac{C}{D+C} \right)$$

Al conocer la proporción de financiamiento de la inversión, se puede reemplazar el término  $\left( \frac{D}{D+C} \right)$  equivaldría a 0.8, por ser el porcentaje al que se adeudaría la empresa por la inversión inicial. El término  $\left( \frac{C}{D+C} \right)$  se reemplaza por 0.2, ya que es el valor pagado con capital de la empresa.

Para calcular el porcentaje Kd se utilizó la siguiente formula:

$$Kd = Tasa\ de\ interes * (1 - impuesto\ sobre\ la\ renta)$$

La tasa de interés utilizada será 9,33% efectivo anual, y el impuesto sobre la renta que se utilizó es del 37% debido a la nueva reforma tributaria que está vigente desde el 2013. Debido que ahora la tarifa efectiva es del 27%, pero ahora se debe de agregar un 10% adicional a la tarifa efectiva de tributación por la reforma CREE, y en consecuencia a toda la carga tributaria. (Gerencie, 2014)

Para el cálculo de Ke se utilizó la siguiente formula:

$$Ke = Rf + (Rm + Rf) * \beta$$

Donde Rf es la tasa libre de riesgo, esta se obtuvo de acuerdo a la TES proyectada del grupo AVAL<sup>34</sup> para julio del 2024 con un valor de 6,27%, porque es la fecha más cercana dentro del periodo de tiempo al que se busca hacer el estudio del proyecto (10 años).

El Rm es la rentabilidad del sector palmero, en los últimos estudios presentados por la Superintendencia de Sociedades es del 3%, por lo cual se tomara esta última tasa presentada como Rm.

El beta para efectos de este proyecto se determinó como el porcentaje de rentabilidad del sector palmero comparado con la rentabilidad de un sector más grande que incluya al sector palmero, cuyo caso sería el sector agropecuario, y medir así el riesgo que tiene este sector palmero de acuerdo al comportamiento de un mercado más grande, se consultó así las rentabilidades históricas de estos dos mercados presentados en la siguiente tabla:

**Tabla 24: Rentabilidades históricas sector agropecuario y sector palmero (sostenible, 2014)**

	Rentabilidad Sector Agropecuario(x)	Rentabilidad sector palmero (y)
2009	1,8%	2,4%
2010	1,9%	3,2%
2011	2,2%	4,9%
2012	1,4%	3,0%

Para encontrar la tasa beta, se halló la pendiente de estos datos, tomando la rentabilidad del sector palmero como eje Y, la rentabilidad del sector agropecuario en el eje X, dando como resultado una tasa de 2,26%.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de todas las variables mencionadas en este capítulo y el valor de cada una de ellas.

**Tabla 25: Variables utilizadas en el WACC (Autor, 2014)**

Rf	6,27%
----	-------

<sup>34</sup> (AVAL, 2014)

Beta	2,26%
Rm	3%
Ke	6,20%
Kd	5,88%
Wacc	5,94%

Al tomar todas estas variables y reemplazarlo en la fórmula original del WACC mencionada al principio de este capítulo, se obtiene una tasa de costo de capital de 5,94% la cual será la utilizada para evaluar los indicadores de rentabilidad y viabilidad del proyecto.

### 12.3 Evaluación de escenarios

Para la construcción del flujo de caja se tuvieron en cuenta varios egresos y beneficios monetarios que fueron explicados en capítulos anteriores y se retomaron para la evaluación, pero ahora se explicara otros egresos que forman también parte del flujo de caja.

El horizonte de evaluación del proyecto será de 10 años, debido que es la vida útil de la maquinaria y equipo, la planta gasificadora objeto de este estudio entraría dentro de la categoría de maquinaria, por lo cual en el plazo de 10 años no tendría algún valor en libros contables. Uno de los ingresos y egresos utilizados en el flujo de caja es precisamente esta depreciación de la "Power Plant®" en este periodo, para depreciarlo se utilizó el método de línea recta, el cual es una simple división del valor de la planta sobre los años a depreciar, generando un valor de depreciación de \$11.410.174 anuales.

Se cuenta como egreso ya que este valor de depreciación afecta contablemente a la empresa, pero se vuelve a sumar este mismo valor de depreciación como ingreso debido a que este valor no es dinero efectivo que sale realmente de la empresa.

El ahorro eléctrico generado por la planta, es el valor que se tomara como ingreso del proyecto, ya que es dinero que le queda a la compañía por utilizar la planta, en vez de pagarle ese monto anual a la empresa EMSA.

Los costos de operación es el valor del salario del operario anualmente, y los gastos están dados por los insumos y accesorios necesarios para el adecuado funcionamiento y manejo de la planta, estos dos egresos cambian dependiendo del escenario, en el caso de los gastos de accesorios, entre más horas de trabajo tenga la planta, se necesitara de más insumos y cambios de mantenimiento con mayor periodicidad.

El préstamo bancario se refiere al crédito del 80 % sobre la inversión inicial, entra como ingreso porque es efectivo que es inyectado a la empresa para el pago de la inversión. Las cuentas de gastos financieros y amortización están dadas como

egreso porque es dinero que la empresa debe de pagar al banco por el préstamo, estos valores son dados en la tabla 23.

Se tuvo presente un valor inflacionario debido que a través de los años de evaluación los valores tales como ahorro eléctrico y los costos operativos aumentarían en este periodo de tiempo, se utilizó un porcentaje de inflación del 3,76 % constante para todos los años, este valor se consultó de las expectativas para el año 2020 para Colombia, en la página trading economics<sup>35</sup>, la cual hace un seguimiento y pronósticos económicos a varios países.

---

<sup>35</sup> (TradingEconomics, 2014)

### 12.3.1 Escenario 1

El primer escenario contempla una jornada de 8 horas de trabajo diarias, con un solo operario que se encarga del funcionamiento de la planta, se contempla un salario de 8 horas hombre diarias.

Tabla 26: Flujo de caja escenario 1 (Autor, 2014)

FLUJO DE CAJA ESCENARIO 1 (Planta en funcionamiento 8h/día)											
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ahorro monetario por autoabastecimiento energético		\$18.718.636,03	\$19.422.456,75	\$20.152.741,12	\$20.910.484,19	\$21.696.718,39	\$22.512.515,00	\$23.358.985,57	\$24.237.283,43	\$25.148.605,28	\$26.094.192,84
Costos operativos (operarios)		-\$15.555.035,14	-\$16.139.904,46	-\$16.746.764,86	-\$17.376.443,22	-\$18.029.797,49	-\$18.707.717,87	-\$19.411.128,07	-\$20.140.986,48	-\$20.898.287,57	-\$21.684.063,19
Depreciación		-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11
Gastos (implementos e insumos)		-\$2.664.625,28	-\$2.764.815,19	-\$2.868.772,24	-\$2.976.638,08	-\$3.088.559,67	-\$3.204.689,52	-\$3.325.185,84	-\$3.450.212,83	-\$3.579.940,83	-\$3.714.546,61
<b>Ahorro neto</b>		-\$11.113.870,50	-\$11.095.109,01	-\$11.075.642,10	-\$11.055.443,23	-\$11.034.484,88	-\$11.012.738,50	-\$10.990.174,45	-\$10.966.762,00	-\$10.942.469,23	-\$10.917.263,06
Depreciación		\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11
Prestamo Bancario	\$92.902.768,90	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Gastos Financieros		-\$8.667.828,34	-\$7.228.990,12	-\$5.655.908,30	-\$3.936.057,94	-\$2.055.745,54					
Amortización		-\$15.421.631,49	-\$16.860.469,71	-\$18.433.551,53	-\$20.153.401,89	-\$22.033.714,28					
Estudio de credito		-\$46.000,00									
Inversión (Planta, envío y accesorios)	-\$117.058.390,12										
<b>Flujo de caja</b>	-\$24.155.621,22	-\$12.522.613,71	-\$23.571.722,73	-\$23.552.255,81	-\$23.532.056,94	-\$23.511.098,59	\$600.107,61	\$622.671,66	\$646.084,11	\$670.376,88	\$695.583,05

Se presenta a continuación el análisis financiero para esta propuesta:

Tabla 27: Análisis financiero escenario 1 (Autor, 2014)

Análisis Financiero	
VPN	-\$111.047.024,06
TIR	-
Wacc	5,94%

Esta propuesta de utilizar la planta para la generación de energía por 8 horas diarias, presenta flujos de caja negativos en los primeros 5 años del proyecto, esto debido al pago del préstamo bancario adquirido para pagar la inversión inicial. Pero una vez completado este pago, empieza a mostrar un ahorro monetario por el auto-abastecimiento energético.

Se puede visualizar que aparte de los flujos de caja negativos los primero 5 años, el VPN es -\$111.046.024, que es el valor del total del proyecto traído hasta la fecha de hoy. La TIR no se puede calcular, debido a los valores negativos del flujo de caja los cuales son muchos mayores que los valores positivos los cuales representan la ganancia del proyecto, la TIR no se puede hallar debido que no hay ningún valor de esta tasa que haga que el valor presente neto sea igual a cero, por las grandes pérdidas monetarias que genera el proyecto en este escenario planteado con ese tipo de financiamiento.

### 12.3.2 Escenario 2

El segundo escenario propone la utilización de la planta durante 16 horas al día, para esta propuesta la jornada laboral estará dividida en dos turnos, cada uno de 8 horas, por lo cual se contratará a un operario por cada turno, para que la planta tenga un funcionamiento continuo.

Tabla 28: Flujo de caja escenario 2 (Autor, 2014)

FLUJO DE CAJA ESCENARIO 2 (Planta en funcionamiento 16h/día)											
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ahorro monetario por autoabastecimiento energético		\$37.437.272,06	\$38.844.913,49	\$40.305.482,24	\$41.820.968,37	\$43.393.436,78	\$45.025.030,01	\$46.717.971,14	\$48.474.566,85	\$50.297.210,56	\$52.188.385,68
Costos operativos (operarios)		-\$23.332.552,70	-\$24.209.856,69	-\$25.120.147,30	-\$26.064.664,84	-\$27.044.696,23	-\$28.061.576,81	-\$29.116.692,10	-\$30.211.479,72	-\$31.347.431,36	-\$32.526.094,78
Depreciación		-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11
Gastos (implementos e insumos)		-\$3.823.032,01	-\$3.966.778,02	-\$4.115.928,87	-\$4.270.687,79	-\$4.431.265,66	-\$4.597.881,24	-\$4.770.761,58	-\$4.950.142,21	-\$5.136.267,56	-\$5.329.391,22
<b>Ahorro neto</b>		<b>-\$1.331.158,76</b>	<b>-\$944.567,32</b>	<b>-\$543.440,04</b>	<b>-\$127.230,37</b>	<b>\$304.628,78</b>	<b>\$752.725,84</b>	<b>\$1.217.671,34</b>	<b>\$1.700.098,80</b>	<b>\$2.200.665,53</b>	<b>\$2.720.053,57</b>
Depreciación		\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11
Prestamo Bancario	\$92.902.768,90										
Gastos Financieros		-\$8.667.828,34	-\$7.228.990,12	-\$5.655.908,30	-\$3.936.057,94	-\$2.055.745,54					
Amortización		-\$15.421.631,49	-\$16.860.469,71	-\$18.433.551,53	-\$20.153.401,89	-\$22.033.714,28					
Estudio de crédito		-\$46.000,00									
Inversión (Planta, envío y accesorios)	-\$116.128.461,12										
<b>Flujo de caja</b>	<b>-\$23.225.692,22</b>	<b>-\$13.853.772,48</b>	<b>-\$13.421.181,03</b>	<b>-\$13.020.053,75</b>	<b>-\$12.603.844,08</b>	<b>-\$12.171.984,93</b>	<b>\$12.365.571,95</b>	<b>\$12.830.517,46</b>	<b>\$13.312.944,91</b>	<b>\$13.813.511,64</b>	<b>\$14.332.899,68</b>

Se presenta a continuación el análisis financiero realizado para este escenario:

Tabla 29: Análisis Financiero escenario 2 (Autor, 2014)



Análisis Financiero	
VPN	-\$36.370.286,25
TIR	-5%
Wacc	5,94%

Este escenario 2, igual que el anteriormente analizado (escenario 1), presenta un flujo de caja negativo en sus primeros 5 años de evaluación, debido al pago de interés y amortización de la deuda bancaria adquirida, aunque después del pago de la deuda, los flujos de cajas muestran un ahorro monetario interesante, por lo cual se recomienda tener un colchón financiero en los primeros 5 años de implementación del proyecto que soporten las operaciones de la empresa y ayuden a saldar la deuda, debido que el ahorro generado por la planta no es suficiente para pagar en su totalidad la amortización e interés anual que debe ser pagado.

Este escenario también (igual que el escenario 1) no es viable financieramente debido que su tasa interna de retorno (-5%) es menor que la tasa WACC, y además presenta un VPN negativo, presentando así este escenario pérdida monetaria.

### 12.3.3 Escenario 3

Este último escenario contempla la alternativa de utilizar la planta para auto-abastecimiento energético durante 24 horas diarias los 7 días de la semana (al igual que los anteriores 2 escenarios). No es problema trabajar en esas jornadas, debido que en la actualidad la empresa PAM realiza este tipo de jornadas continuas debido a que ellos trabajan todos los días en horario continuo, cambiando de turnos. La fábrica de extracción de aceite de palma está en funcionamiento las 24 horas del día, aunque no con toda

la nómina presente en todas las horas, en jornada nocturna son pocos los operarios que se quedan a cargo del funcionamiento de la planta ya que solo se aseguran del adecuado funcionamiento de los equipos y tener todo preparado para la primera jornada del día, en la cual está presente la totalidad de los empleados.

Este propuesta de utilización de la planta gasificadora contempla un triple turno, en el cual se encargara un operario distinto en cada una de estas jornadas, por lo cual se contratara 3 operarios para esto, cada uno se le pagará 6 horas las cuales son las que se necesitan estén presentes frente a la planta operándola, el resto de las 2 horas del turno puede desempeñar tareas objeto de la operación núcleo de la empresa.

Tabla 30: Flujo de caja escenario 3 (Autor, 2014)

FLUJO DE CAJA ESCENARIO 3 (Planta en funcionamiento 24h/día)											
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ahorro monetario por autoabastecimiento energético		\$56.155.908,10	\$58.267.370,24	\$60.458.223,36	\$62.731.452,56	\$65.090.155,18	\$67.537.545,01	\$70.076.956,70	\$72.711.850,28	\$75.445.815,85	\$78.282.578,52
Costos operativos (operarios)		-\$34.998.829,06	-\$36.314.785,03	-\$37.680.220,95	-\$39.096.997,25	-\$40.567.044,35	-\$42.092.365,22	-\$43.675.038,15	-\$45.317.219,58	-\$47.021.147,04	-\$48.789.142,17
Depreciacion		-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11
Gastos (implementos e insumos)		-\$4.416.028,71	-\$4.582.071,39	-\$4.754.357,28	-\$4.933.121,11	-\$5.118.606,46	-\$5.311.066,07	-\$5.510.762,15	-\$5.717.966,81	-\$5.932.962,36	-\$6.156.041,74
<b>Ahorro neto</b>		\$5.128.204,22	\$5.757.667,71	\$6.410.799,03	\$7.088.488,08	\$7.791.658,25	\$8.521.267,61	\$9.278.310,29	\$10.063.817,77	\$10.878.860,33	\$11.724.548,50
Depreciación		\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11
Prestamo Bancario	\$92.902.768,90										
Amortización		-\$15.421.631,49	-\$16.860.469,71	-\$18.433.551,53	-\$20.153.401,89	-\$22.033.714,28					
Gastos Financieros		-\$8.667.828,34	-\$7.228.990,12	-\$5.655.908,30	-\$3.936.057,94	-\$2.055.745,54					
Estudio de credito		-\$46.000,00									
Inversión (Planta,envio y accesorios)	-\$116.128.461,12										
<b>Flujo de caja</b>	-\$23.225.692	-\$7.394.409	-\$6.718.946	-\$6.065.815	-\$5.388.126	-\$4.684.955	\$20.134.114	\$20.891.156	\$21.676.664	\$22.491.706	\$23.337.395

A continuación se presenta el análisis financiero para la propuesta de utilización de la planta 24 horas diarias:

Tabla 31: Análisis financiero escenario 3 (Autor, 2014)

Análisis Financiero	
VPN	\$19.250.263,11
TIR	11%
Wacc	5,94%

El escenario 3 presenta la mejor alternativa por la alta rentabilidad que genera, con un valor de \$19.250.263 de VPN al cabo de los 10 años de evaluación, paga toda la inversión hecha y deja aun así, un ahorro económico del cual puede disponer la empresa como le sea más adecuado.

Con una TIR de 11%, estando por encima de la tasa Wacc 5,06 puntos porcentuales, afirma la rentabilidad de este proyecto con jornadas laborales como las descritas en el tercer escenario.

Aunque presente alta rentabilidad este método de trabajo de la planta, no es recomendable utilizarla las 24 horas del día por las operaciones que se deben realizar después de determinados ciclos. Dentro del procedimiento que se debe seguir para el funcionamiento adecuado de la planta, se encuentra el del purgar el sistema después de determinadas horas de trabajo, esto quiere decir abrir todas las válvulas del sistema de tuberías de la planta para dejar escapar los gases remanentes que pueden permanecer al final de la jornada.

Esta operación se hace para la seguridad de las personas que pudiesen estar cerca de la planta, ya que estos gases al estar comprimidos durante bastante tiempo, y con el riesgo que entre más al sistema, puede la planta presentar riesgo de explosión cuando esta presión exceda los límites de almacenamiento de gases de esta. Por otro lado estos gases son inflamables, por lo cual también puede generar un riesgo de incendio.

Para realizar la extracción de estos gases o purgación, se debe de pausar la operación de la planta ya que debe estar apagada cuando esto se hace, de lo contrario, si está encendida seguirá generando gases. Por lo cual un trabajo continuo de 24 horas 7 días de la semana, aunque no sea un escenario imposible, es riesgoso para la integridad de los operarios cercanos a la ubicación de la planta, así mismo como para los bienes de la empresa y la integridad de la planta en sí.

Los laboratorios ALL Power Labs, recomiendan que esta extracción de gases se realice al finalizar la jornada diaria, por lo cual se necesita al menos de 1 hora al día para este procedimiento, el cual no necesita de un operador presente, simplemente se necesita que se abran las válvulas del sistema y dejar escapar el gas remanente.

Este escenario, por recomendaciones de seguridad debe dejar al menos la última hora de la jornada diaria purgando el sistema de gases, las horas restantes pueden trabajar en jornada continua con la planta.

## 13 CONCLUSIONES

- Los residuos biomásicos generados por la extracción de aceite de palma, tienen el potencial energético suficiente para ser aprovechado en la generación de energía sustentable y económica para las empresas de este sector.
- Las industrias a nivel mundial, están volcando esfuerzos hacia los nuevos métodos de generación de energía sustentable. De la misma manera los gobiernos están regulando las antiguas actividades para la obtención energética, por lo cual es una necesidad cada vez más apremiante para las empresas, contar con buenas practicas que ayuden al medio ambiente y su conservación.
- Alternativas como la gasificación y pirólisis en la actualidad, a diferencia de unos años atrás, se pueden encontrar de manera más comercial, permitiendo así el acceso a todo tipo de empresas pequeñas y mediana, así mismo a personas naturales, para generar su propio abastecimiento de energía renovable.
- Este proyecto de implementación de plantas gasificadoras en empresas de la industria de palma de aceite, es técnicamente viable, debido que los equipos se pueden conseguir en el mercado y pueden ser operados por cualquier persona que sea capacitada. Igualmente los residuos biomásicos generados cumplen con todas las especificaciones de la planta para ser gasificados satisfactoriamente.
- El proyecto presenta una rentabilidad en escenario 3, por su VPN positivo y su respectiva tasa TIR siendo mayor que la tasa de costo de capital, por lo cual es viable financieramente en esta forma de trabajo de la planta.
- El escenario 1 y 2, resultaron sin factibilidad financiera, mostrando flujos con demasiada pérdida monetaria en los primeros 5 años de evaluación, esto se debe más que todo por el pago de intereses y las cuotas de amortización que se deben saldar, ya que el préstamo bancario es demasiado alto, debido a los pocos recursos económicos que la empresa PAM está en capacidad de aportar al financiamiento del proyecto.
- Como propuesta para complementar este trabajo con otros adicionales, se plantea la producción en Colombia del equipo utilizado ya que su tecnología está al alcance de nuestras posibilidades. Además de la producción de

equipos también se perfila como un campo de aplicación interesante de soluciones basadas en energía a partir de éste (cuesco) y otros residuos biomásicos que estén dentro de los parámetros adecuados para aprovechar su potencial energético.

- Este proyecto podría ser factible en cualquier tipo de empresa del sector palmero desde que capacidad de generación de residuos biomásicos suficientes, ya que se necesita que produzcan por lo menos 5.280 kg mensuales de biomasa, y que tenga tengan mayor recursos económicos propios para invertir sin la necesidad de pedir un préstamo bancario, para que implementar el proyecto resulte financieramente viable.

## 14 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que de ser utilizada la propuesta de manejo de la planta del escenario 3 (24 horas al día de trabajo), se realice al menos dos pausas de 30 minutos cada una para purgar el sistema de gases inflamables que ponen en riesgo a los operarios, dichas pausas se recomienda se realicen antes del primer ciclo del día y al finalizar la jornada laboral.
- Como se menciona en el capítulo 9.3 se recomienda que al menos un ingeniero de planta de la empresa PAM, reciba la capacitación para poder dar asesorías a los operarios a nivel más técnico, y pueda mantener comunicación con ALL POWER LABS por si se presenta alguna irregularidad con el funcionamiento de la planta.
- Se recomienda antes de financiar el proyecto, realizar pruebas piloto con el cuesco y nuez residual, debido que en Estados Unidos no se encuentra la planta de palma de aceite, y en ninguno de los países en que ALL POWER LABS ha implementado las plantas han utilizado el mismo residuo biomásico que el estudiado por este proyecto (cuesco y nuez de palma de aceite). ALL POWER LABS mostró interés en estudiar más a fondo el funcionamiento de este residuo con sus plantas gasificadoras, por lo cual propusieron la alternativa de que se les envíen muestras de este tipo de biomasa para que ellos mismos hagan estas pruebas piloto y dar una aprobación total del aprovechamiento energético de la re-utilización del cuesco y nuez residuales del proceso de extracción de palma de aceite.
- Para que este proyecto resulte viable financieramente, sin necesidad de trabajar la planta 24 horas al día, se recomienda conseguir otro tipo de financiamiento con tasas de interés más bajo, o solicitar un monto mucho menor que el 80 % que el estudiado en este proyecto, o pagar la totalidad de la inversión con recursos propios.

## 15 RESTRICCIONES:

Al ser el proyecto de carácter investigativo no contempla dentro de sus objetivos la implementación física o desarrollo la planta gasificadora propuesta.

### Reales:

- Restricción económica para adquisición de la máquina generadora de energía.
- La empresa de palma de aceite que brindara la información para la investigación, no quiere que se utilice su nombre por cuestiones de confidencialidad, así mismo de datos contables ya que no quiere divulgación de estos valores.

### Ficticias:

- Ausencia de diseños para una locación adecuada de la máquina.
- Falta de contacto directo con varios instrumentos que conforman la planta energética, como el motor, gasificador, filtro de gas, control automatizado del sistema, entre otros.

## 16 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

ACER. (2 de Noviembre de 2012). *Asociación Colombiana de energías renovables*. Obtenido de <http://www.asociacionenergiasrenovables.org/energias-renovables/biomasa>

Acevedo, K., Ariza, E., & Barrios, J. (8 de Noviembre de 2012). *Slideshare*. Obtenido de <http://www.slideshare.net/Ednamar0120/estudio-de-factibilidad-de-un-proyecto-3505481>

Autor. (2014). Bogotá, Colombia.

AVAL, G. (16 de Abril de 2014). *Portal grupo aval*. Obtenido de [https://www.grupoaval.com/portal/page?\\_pageid=33,115460184&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](https://www.grupoaval.com/portal/page?_pageid=33,115460184&_dad=portal&_schema=PORTAL)

Bagués, A. M. (Febrero de 2011). Diseño de una instalación experimental de trigeneración con biomasa. Zaragoza, España.

- BESEL, S. (. (Octubre de 2007). Biomasa: Producción eléctrica y cogeneración. Madrid: IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía).
- Borrero, C. A. (5 de Mayo de 2014). *Info Agro*. Obtenido de [http://www.infoagro.com/herbaceos/oleaginosas/palma\\_aceite2.htm](http://www.infoagro.com/herbaceos/oleaginosas/palma_aceite2.htm)
- Carvajal, S. I. (1 de Noviembre de 2012). *Biblioteca Universidad Tecnológica de Pereira*. Obtenido de <http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesisdigitales/texto/3337932124.pdf>
- Chaín, N. S. (2007). Proyectos de inversión, formulación y evaluación. México D.F: Pearson.
- Crispin, M., Felix, E., & Quintero, J. A. (1 de Noviembre de 2012). ANÁLISIS DE COSTOS DE PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES EN PERÚ: UNA DIMENSION SOCIAL. *METODOLOGIA APLICADA EN ANÁLISIS TECNOCONÓMICO Y MEDIO AMBIENTAL EN BASE A PROCESOS DE*.
- Cruz, H. S. (2011). *Impacto sobre los ecosistemas, de las centrales electricas en Colombia*. Barranquilla.
- Damien, A. (2010). *La biomasa: Fundamentos, tecnologías y aplicaciones*. París: AMV ediciones, Mundi-Prensa.
- Desarrollo, A. C. (1 de Noviembre de 2012). *Asociación Civil Investigación y Desarrollo*. Obtenido de [http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/eco\\_acuatica/macrophytas.htm](http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/eco_acuatica/macrophytas.htm)
- División de Ciencias Ambientales del Laboratorio Nacional de Oak Ridge (Tennessee, E. U. (29 de Octubre de 2012). *Banco mundial*. Obtenido de <http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC/countries/CO-XJ?display=graph>
- Escalerasdecolombia. (6 de Mayo de 2010). *Escaleras de Colombia*. Obtenido de <http://escalerasdecolombia.com/WEB%20ESCALERAS%20COLOMBIA%20011.pdf>
- Estrada, C. A., & Meneses, A. Z. (agosto de 2004). Gasificación de biomasa para producción de combustible de bajo poder calorífico y su utilización en generación de potencia y calor. *Scientia Et Technica*, 155-159.
- Estrada, C. A., & Meneses, A. Z. (2004). Gasificación de Biomasa para producción de combustibles de bajo poder calorífico y su utilización en generación de potencia y calor. *Scientia Et Technica*, 155-159.
- FedeBiocombustibles. (1 de Noviembre de 2012). *FedeBiocombustibles*. Obtenido de <http://www.fedebiocombustibles.com/v2/main-pagina-id-4.htm>



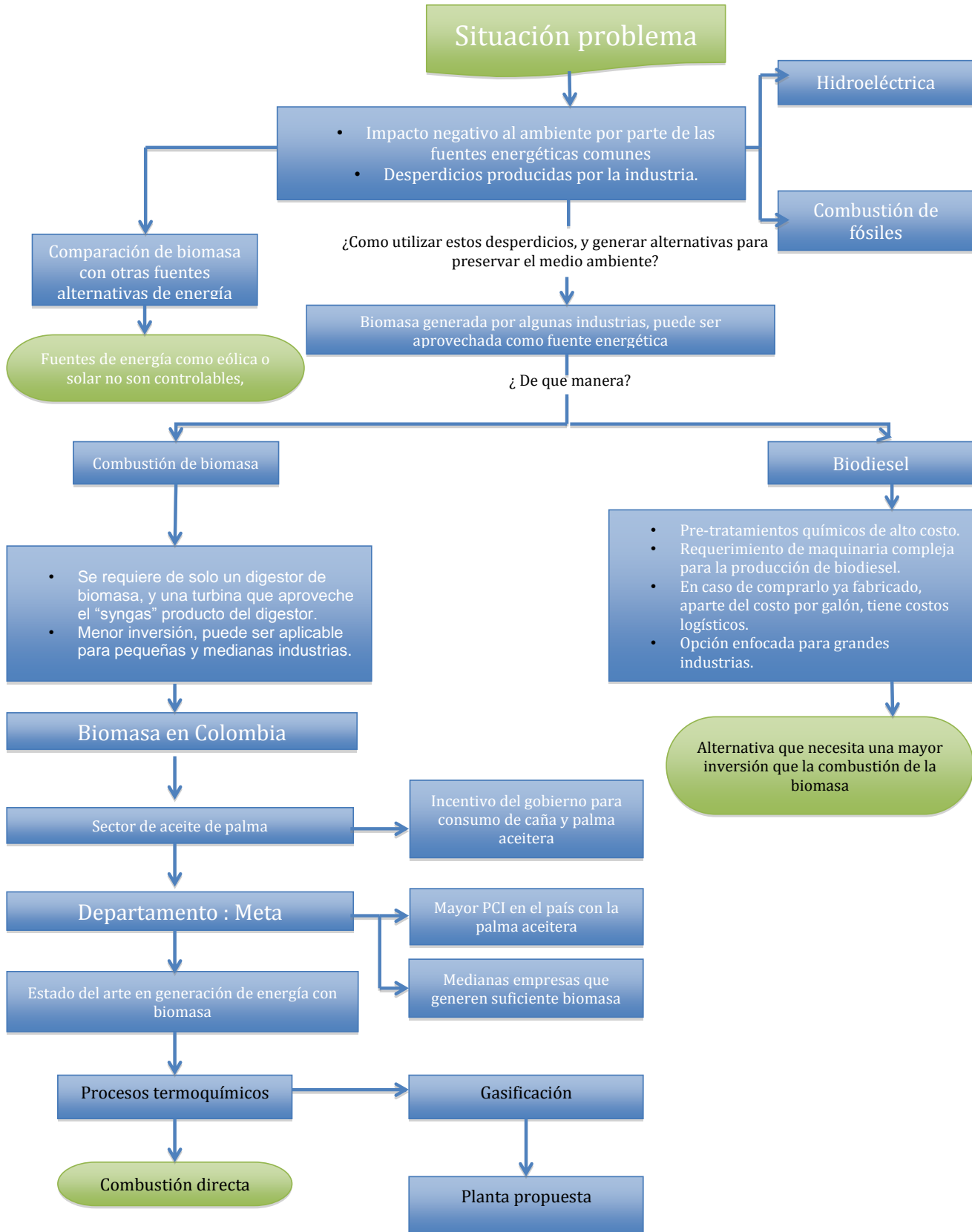
- Fernández, J. (2003). *Energías renovables para todos ( Biomasa)*. Madrid: Haya Comunicación.
- Franke, G. (1994). *nutzpflanzen der tropen und subtropen*. UTB.
- Gerencie. (10 de Abril de 2014). *Gerencie*. Obtenido de <http://www.gerencie.com/tarifa-nominal-del-impuesto-sobre-la-renta-disminuyo-pero-la-carga-tributaria-aumento.html>
- Gómez, A., Klose, W., & Rincón, S. (2008). *Pirólisis de biomasa*. Bogotá, Kassel: Kassel university press.
- Gómez, A., Klose, W., & Rincón, S. (2008). *Pirólisis de Biomasa - Cuesco de palma de aceite*. Bogotá D.C., Colombia: Kassel university press.
- Helwani, Z. M. (2009). Technologies for production of biodiesel focusing on green catalytic techniques. *Full Process, Technology*, 1502-1514.
- Hernández, H. E., Prada, J. O., Lesmes, H. J., Ruiz, M. C., & Ortega, M. D. (2010). *Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia*. Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander.
- Hidalgo, D. F. (5 de Abril de 2014). *La Patria*. Obtenido de <http://www.lapatria.com/campo/agricultor-hay-creditos-para-sus-proyectos-4001>
- hoy, V. d. (10 de Mayo de 2014). *Eltiempo*. Obtenido de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13128617>
- Labs, A. P. (5 de Marzo de 2014). *All Power Labs*. Obtenido de <http://gekgasifier.com/>
- Labs, A. P. (27 de Marzo de 2014). *gek gasifier*. Obtenido de <http://www.gekgasifier.com/wp-content/uploads/2013/08/Introduction-to-the-Power-Pallet.pdf>
- Meta, E. d. (5 de Abril de 2014). *EMSA*. Obtenido de [http://www.electrificadoradelmeta.com.co/images/M\\_images/marzo%202014.jpg](http://www.electrificadoradelmeta.com.co/images/M_images/marzo%202014.jpg)
- Meta, P. d. (07 de Mayo de 2014). *Proceso de extracción de aceite de palma*. (J. Anchique, Entrevistador)
- México, G. f. (07 de Mayo de 2014). *Renovables*. Obtenido de <http://www.renovables.gob.mx/portal/Default.aspx?id=2184&lang=2>
- republica, B. d. (5 de Abril de 2014). *Banrep*. Obtenido de <http://www.banrep.gov.co/es/trm>

- Robaina, B. A., & Reyes, Y. G. (5 de Noviembre de 2012). *monografias.com*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos66/residuos-solidos-toronja/residuos-solidos-toronja2.shtml>
- Román, J. F. (1985). Posibilidades de aprovechamiento económico de la biomasa residual. *Agricultura y Sociedad n° 34*, 219 - 236.
- Romero, J. (5 de Noviembre de 2012). Estudio de tecnologías de combustión .
- Rubio, S. R., Sierra, F. E., & Guerrero, C. a. (2011). *Gasification from waste organic materials*. Bogotá .
- SÁNCHEZ, A. A. (Abril de 2010). EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL POR DESTILACIÓN REACTIVA. Manizales.
- Schuchardt, U., Sercheli, R., & Matheus, R. (1998). ransesterification of vegetable oils: a review. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 199-210.
- Servientrega. (5 de abril de 2014). *Servientrega*. Obtenido de [http://sismilenio.servientrega.com/Cotizador\\_Portal/FrmCotizadorDef.aspx](http://sismilenio.servientrega.com/Cotizador_Portal/FrmCotizadorDef.aspx)
- sostenible, U. d. (10 de Abril de 2014). *Fedepalma*. Obtenido de <http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Análisis%20desempeño%20financiero%202013.pdf>
- Superfinanciera. (Abril de 9 de 2014). *Superintendencia Financiera de Colombia*. Obtenido de <https://www.superfinanciera.gov.co/jsp/loader.jsf?IServicio=Publicaciones&ITipo=publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=61298>
- Talledo, E. (29 de Octubre de 2012). *OCEANA*. Obtenido de <http://oceana.org/es/eu/que-hacemos/cambio-climatico-y-energias-renovables/cambio-climatico/mas-informacion/fuentes-de-emisiones-de-gases-contaminant>
- TradingEconomics. (15 de Abril de 2014). *Trading Economics*. Obtenido de <http://es.tradingeconomics.com/colombia/forecast>
- Turns, S. R. (2000). *An introduction to combustion concepts and applications*. McGraw-Hill.
- Wikipedia*. (10 de Marzo de 2014). Obtenido de [http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93xido\\_de\\_silicio\\_\(IV\)](http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93xido_de_silicio_(IV))
- WordReference. (8 de Noviembre de 2012). *WordReference*. Obtenido de <http://www.wordreference.com>



# 17 ANEXOS

## 17.1 Anexo 1: Mapa mental antecedentes y formulación del problema



## 17.2 Anexo 2: Tabla de mantenimiento propuesta para “Power Plant®”

Tabla 32: Programación de mantenimiento sugerida (Labs A. P., 2014)

Ítem	Diario	10-12 horas	50hrs/10 ciclos	300hrs/50 ciclos	1.000hrs/100 ciclos
<b>Sistema de ignición</b>					
Inspección visual, reactor y rejilla del exhosto			X		
Purgar carbón restante del reactor		X			
Revisar/limpiar ciclón			X		
Revisar/vaciar la jarra de condensado del ciclón			X		
Revisar/ cambiar los filtros de gas			X		
Revisar/ limpiar los discos de espuma del filtro de gas		X			
Revisar/limpiar líneas de gas				X	
Revisar/ limpiar extractores duales de gas				X	
Revisar las líneas de aire del reactor					X
Revisar la campana de reducción del reactor					X
Revisar boquillas del reactor					X
<b>Sistema de generación eléctrica (Motor)</b>					
Revisar/Purgar filtros de aire	X				
Vaciar jarra de condensado	X				
Revisar las bujías					X
Revisar aceite del motor	X				
Revisar la válvula de mariposa	x		X		
Correr con limpiador de válvulas/ combustible alterno					X
Recalibrar el sensor de O2			x		

### 17.3 Anexo 3: Cotización “Power Plant®”



## The Power Pallet from ALL Power Labs

Hello Johann Anchique,

Thank you for your interest in ALL Power Labs products and pricing.

ALL Power Labs makes small-scale gasifier device called a [Power Pallet](#) that converts woody biomass to electricity and heat. It is a compact, integrated system that turns woody biomass – such as wood chips and nutshells – into electric power. The Power Pallet comes in two varieties: basic and grid-tie, delivering power at 115-400 volts and 50 or 60 Hz.

Pricing and Production Times:

- The basic 20kW Power Pallet costs \$29,995 plus shipping and can be built and ready to ship 90 days from receipt of payment.
- The 20kW Power Pallet Grid-Tie costs \$39,990 and includes the integrated grid-tie controller (from Deep Sea Electronics) as well as on-site installation and training. Please contact Brian Ballek (see below) for complete package pricing. The Power Pallet Grid-Tie can be built and ready to ship 120 days from receipt of payment.

All Power Pallets orders also include a \$250 handling fee (per unit) that covers costs to prepare the unit for transport, crating and fork lifting onto a carriers truck at our facility.

More information can be found in our [product catalog](#). In addition here are some videos you may be interested in watching:

- Our recent blog postings describe the [latest improvements](#) in the Power Pallet, thanks to its new [v5 gasifier](#)
- These [instructional videos](#) show how to prepare and operate the Power Pallet
- This [fuel chart](#) and accompanying [video](#) on suitable fuels will help you determine if the Power Pallet is right for your biomass material

These features of the [v5 gasifier](#) are described by our founder, Jim Moore

**Ilustración 31: Cotización enviada por ALL POWER LABS**

## 17.4 Anexo 4: Cotización escalera de alimentación



### ESCALERAS DE COLOMBIA

Telefax (5) 6628393 y (1) 3475902 escalerasdecolombia@hotmail.com

#### TIJERA EN ALUMINIO

**INDUSTRIAL, CAPACIDAD 137 Kg, 300 LIBRAS,  
USO GENERAL EXTRA PESADO, TIPO IA**

REF/METROS	PASOS	SIN IVA	CON IVA	Kg
TA 0.60	2	113.000	131.000	4.0
TA 0.90	3	136.000	157.760	5.0
TA 1.20	4	160.000	185.560	5.5
TA 1.50	5	185.000	214.600	8.0
TA 1.80	6	208.000	241.000	9.0
TA 2.10	7	241.000	279.600	10.5
TA 2.40	8	271.000	314.000	12.0
TA 3.00	10	385.000	446.600	15.0
TA 3.60	12	451.000	523.000	17.0
TA 4.00	13	530.000	614.800	20.0
TA 5.00	16	744.000	863.000	25.0
TA 6.00	20	1.043.000	1.209.900	30.0



7

**SUBIDA POR AMBOS LADOS, 30% DE RECARGO  
PLATAFORMA ALUMINIO \$20.000**



#### TIJERA PLATAFORMA EN ALUMINIO

**INDUSTRIAL, CAPACIDAD 137 Kg, 300 LIBRAS,  
USO GENERAL EXTRA PESADO, TIPO IA**

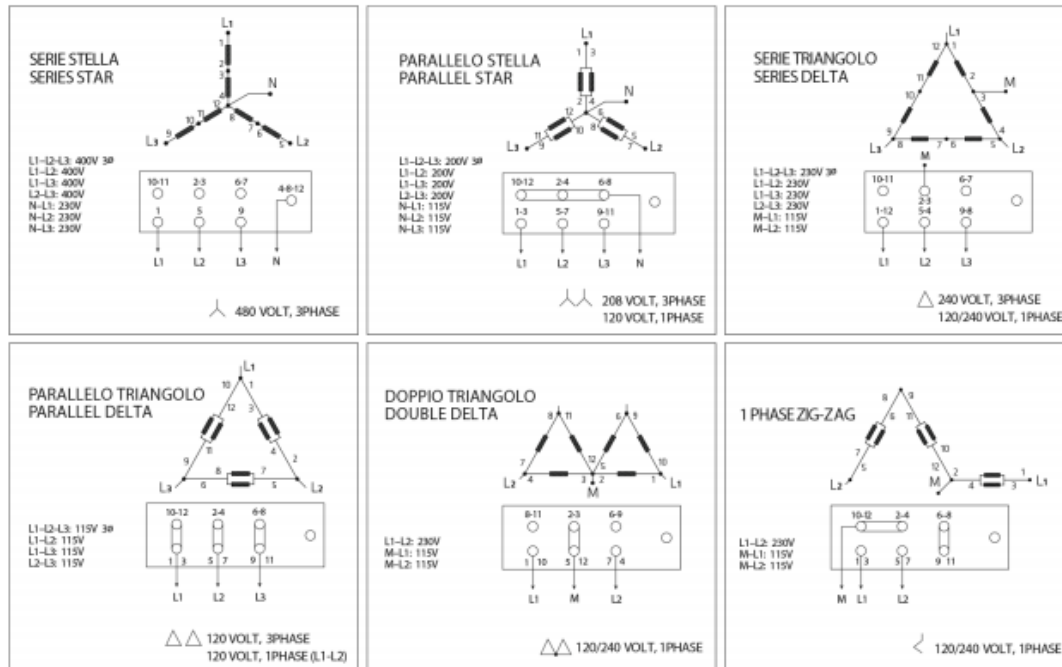
REF/METROS	PASOS	SIN IVA	CON IVA	Kg
TAP 1.2	4	577.000	669.000	14
TAP 1.5	5	619.000	718.000	16
TAP 1.8	6	646.000	749.000	18
TAP 2.1	7	789.000	915.000	20
TAP 2.4	8	861.000	998.800	22
TAP 3.0	10	987.000	1.145.000	24

**SUBIDA POR AMBOS LADOS, 30% DE RECARGO**

Ilustración 32: Cotización de escalera tipo tijera con plataforma (Escalerasdecolombia, 2010)

## 17.5 Anexo 5: Configuración de alambrado y voltajes + Tabla de opciones de voltaje

### 60hz Power Pallet wiring configuration and voltages



60hz– configuration and terminals		Voltage options			
<b>Series Star</b>	L - L	415V	440V	460V	480V
	L - N	240V	254V	266V	277V
<b>Parallel Star</b>	L - L	208V	220V	230V	240V
	L - N	120V	127V	133V	139V
<b>Series Delta</b>	L - L	240V	254V	266V	277V
	L - M	120V	127V	133V	139V
<b>Parallel Delta</b>	L - L	120V	127V	133V	139V
	<b>Zig-Zag</b>	L - L	359V	380V	400V
<b>1-Phase Parallel Zig-Zag</b>	L - M	207V	220V	230V	240V
	L - L	240V	254V	266V	277V
<b>1- Phase Double Delta</b>	L - M	120V	127V	133V	139V
	L - L	240V	254V	266V	277V
	L - M	120V	127V	133V	139V

Ilustración 33: Configuración de alambrado y voltajes (Labs A. P., 2014)



17.6 Anexo 6: Cotización importación de la planta + Seguros + gastos de nacionalización + recargos + aduana + transporte terrestre Cartagena – Cumaral



BEMEL SAS

Trans. 93 No. 51-98 Bodega 45  
Parque Empresarial Puerta del Sol  
PBX: (571) 429 18 00  
Bogotá \* Colombia

**PRELIQUIDACION DE IMPORTACION MARITIMA FCL**

**Cliete:**  
**Cotizacion:** 00113  
**Mercancía:** Carga general no peligrosa  
**Valor de la M/cia (USD):** 39.990,00  
**Cantidad:** LCL  
**Peso Bruto (TON) :**  
**Volumen (cmb) m3** 658 kg/ 1450 lb  
**Dimensiones:** 1.2m x 1.3m x 1.8m  
**PUERTO DE ORIGEN** HOUSTON  
**PUERTO DE DESTINO** CARTAGENA  
**Modalidad** MARITIMA LCL  
**HBL** 1  
**Términos de Negociación:**  
 1010 murray Street 94710  
**TRM APROX** \$ 1.951,00

1. FLETE INTERNACIONAL	Tarifa	Cantidad	Total
pick up BERKELEY - MIAMI	USD 1.500,00	2	USD 3.000,00
Warefare chargues	USD 70,00	2	USD 140,00
Home land securty fee	USD 25,00	1	USD 25,00
Aes	USD 30,00	1	USD 30,00
handling	USD 95,00	1	USD 95,00
Chassis Fee	USD 90,00	2	USD 180,00
FLETE MARITIMO MIAMI- CARTANERA	USD 1.250,00	1,00	USD 1.250,00
Sub-total Aproximado			4.720,00 USD
RECARGOS EN DESTINO	Tarifa	Cantidad	Total (USD)
COLLECTION FEE / (flete y gastos en origen) 3% Minima USD 35	3,00%	4.720,00 USD	141,60 USD
MANEJO INTEGRAL	250,00 USD	2,00	500,00 USD
Sub-total Aproximado			641,60 USD
2. SEGURO DE TRANSPORTE INTERNACIONAL	Tarifa	Cantidad	Total (USD)
MARITIMO 0,5, % SOBRE EL VALOR ASEGURADO MIN USD	0,50%	39.990,00 USD	199,95 USD
Sub-total aproximado			199,95 USD
<b>TOTAL APROX EN USD FLETE+RECARGOS ORIGEN+RECARGOS DESTINO+ SEGURO</b>			<b>USD 6.977,55</b>
<b>TOTAL APROX EN PESOS FLETE+RECARGOS ORIGEN+RECARGOS DESTINO+ SEGURO</b>			<b>10.850.584 COP</b>

TOTAL IMPORTACION HASTA CTG .

3. GASTOS DE NACIONALIZACION			
IMPUESTOS PARTIDA ARANCELARIA			
VALOR FACTURA COMERCIAL	39.990,00 USD		
VALOR APROXIMADO SEGURO	199,95 USD		
VALOR FLETES	5.361,60 USD		
VALOR CIF APROXIMADO	45.551,55 USD	VALOR CIF PESOS	88.871.074 COP
PORCENTAJE ARANCEL	0,00%	VALOR ARANCEL	0 COP
PORCENTAJE IVA	16,00%	VALOR IVA	14.219.372 COP
Total Aproximado valor impuestos			14.219.372 COP
AGENCIAMIENTO ADUANERO DE IMPORTACIÓN MARITIMA			
CONCEPTO	TARIFA	Cantidad	
COMISIÓN AD VALOREM3% Valor CIF Mínima COP 350000	3,00%	88.871.074,05 COP	2.666.132 COP
GASTOS AGRUPADOS - FIJOS COP / Embarque	80.000 COP	1,00	80.000 COP
ELABORACIÓN DECLARACIÓN IMPORTACIÓN COP / por Hoja	20.000 COP	1,00	20.000 COP
ELABORACIÓN DECLARACIÓN ANDINA DE VALOR COP / Por Hoja	20.000 COP	1,00	20.000 COP
ELABORACIÓN REGISTRO O LICENCIA DE IMPORTACIÓN COP/ Por Hoja	0 COP	1,00	0 COP
FORMULARIOS y DEMAS Al Costo	al costo	1,00	al costo
Total Aproximado gastos de Aduana			2.786.132 COP
TOTAL APROXIMADO DEL SERVICIO DE ADUANA + IMPUESTOS			17.005.504 COP
4. TRANSPORTE TERRESTRE NACIONAL DESDE PUERTO A DESTINO OFICINA/BODEGA			
CONCEPTO	TARIFA	Cantidad	
CARTAGENA - CUMARAL META	4.400.000 COP	2,00	8.800.000 COP
Total Aproximado gastos de Aduana			8.800.000 COP
TOTAL APROX DE LA OPERACIÓN			36.656.088 COP

TOTAL PAGO DE IMPUESTOS , ESTA EXENTO DE ARANCEL POR TLC

TOTAL DE ADUANA + IMPUESTOS

TOTALLLLLL TODA LA OPERACIÓN

## 17.7 Flujo de caja escenario "Optimista"

FLUJO DE CAJA Optimista (Planta en funcionamiento 22h/día)											
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ahorro monetario por autoabastecimiento energético		\$51.476.249,09	\$53.411.756,05	\$55.420.038,08	\$57.503.831,51	\$59.665.975,58	\$61.909.416,26	\$64.237.210,31	\$66.652.529,42	\$69.158.664,53	\$71.759.030,31
Costos operativos (operarios)		-\$31.110.070,27	-\$32.279.808,91	-\$33.493.529,73	-\$34.752.886,45	-\$36.059.594,98	-\$37.415.435,75	-\$38.822.256,13	-\$40.281.972,96	-\$41.796.575,15	-\$43.368.126,37
Depreciacion		-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11	-\$11.612.846,11
Gastos (implementos e insumos)		-\$4.046.640,00	-\$4.198.793,66	-\$4.356.668,31	-\$4.520.479,03	-\$4.690.449,05	-\$4.866.809,93	-\$5.049.801,98	-\$5.239.674,54	-\$5.436.686,30	-\$5.641.105,71
<b>Ahorro neto</b>		\$4.706.692,70	\$5.320.307,36	\$5.956.993,93	\$6.617.619,92	\$7.303.085,44	\$8.014.324,47	\$8.752.306,08	\$9.518.035,81	\$10.312.556,97	\$11.136.952,12
Depreciación		\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11	\$11.612.846,11
Prestamo Bancario	\$92.902.768,90										
Gastos Financieros		-\$15.421.631,49	-\$16.860.469,71	-\$18.433.551,53	-\$20.153.401,89	-\$22.033.714,28					
Amortización		-\$8.667.828,34	-\$7.228.990,12	-\$5.655.908,30	-\$3.936.057,94	-\$2.055.745,54					
Estudio de credito		-\$46.000,00									
Inversión (Planta,envío y accesorios)	-\$117.058.390,12										
<b>Flujo de caja</b>	<b>-\$24.155.621,22</b>	<b>-\$7.815.921,01</b>	<b>-\$7.156.306,35</b>	<b>-\$6.519.619,78</b>	<b>-\$5.858.993,79</b>	<b>-\$5.173.528,27</b>	\$19.627.170,58	\$20.365.152,20	\$21.130.881,92	\$21.925.403,08	\$22.749.798,23

VPN	<b>-\$25.452.563,37</b>
TIR	<b>10%</b>

