



Estudo de viabilidade para a instalação de uma central piloto para geração de energia elétrica a par

MELQUIDES ELBA RAMOS DAS NEVES

Fevereiro de 2016



Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Geotécnica



**Estudio de factibilidad para la instalación de una planta piloto
para la generación de energía eléctrica con biomasa en la isla de
Príncipe (R. D. de Santo Tomé y Príncipe)**

Melquides Elba Ramos das Neves



2016

(página propositadamente em branco)



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Estudio de factibilidad para la instalación de una planta piloto para la generación de energía eléctrica con biomasa en la isla de Príncipe (R. D. de Santo Tomé y Príncipe)

Estudo de viabilidade para a instalação de uma central piloto para geração de energia elétrica a partir de biomassa na ilha do Príncipe (R.D. de S. Tomé e Príncipe)

Melquides Elba Ramos das Neves

1081205

Projeto apresentado ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente e à "Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía" da Universidade Politécnica de Madrid (ETSIM-E|UPM) para a obtenção do grau em Engenharia de Minas, realizada sob a orientação dos Professores Doutores Alfonso Maldonado e Natalia Elizabeth (ETSIM-E|UPM) e do Professor Doutor Antonio Vega y dela Fuente (ISEP).

(página propositadamente em branco)

AGRADECIMIENTOS

La realización de esta tesis y, consecuentemente la finalización de un grado universitario es sinónimo de mucho sacrificio y dedicación, por lo tanto quiero expresar mi profundo agradecimiento a cada una de las personas que hicieron posibles este hecho.

En primer lugar, dedico un especial agradecimiento a mi querida mama que es y será siempre el punto de orientación en mi vida y que estaba allí siempre en cada uno de muchos momentos de debilidad, angustia y desorientación dándome ánimo y fuerza necesaria para continuar y conseguir mis objetivos académicos y personales.

A mis hermanos que aunque estén lejos, siempre han estado presentes para aconsejarme de la mejor manera.

Agradecer al IPP e al ISEP que por intermedio de personas tan accesibles y profesionales especialmente la Ingeniera Delmida Lopes y Ingeniera Joana Sampaio que tramitaron y solucionaron algunos problemas burocráticos de matrícula universitaria.

No olvidaré nunca el Profesor Alfonso Maldonado por todo lo que ha hecho por mí, fue un padre, un amigo y un orientador por excelencia.

Dar un especial agradecimiento a la Profesora Natalia Elizabeth Fonseca Gonzalez por su disponibilidad y por dirigirme de forma tan amable, agradecer también los profesores Antonio Vega y Alberto Ramos.

Finalmente dar las gracias a Juan Antonio Nuñez, Eurydice Sabina de Pina Varela, Domingos Neto Amaro, Carlos Crissostomo, Ezenwa Darlington, Nelma Palmas y Robert Fernandes Ampuero, algunas de muchas personas que me son queridas y que de alguna forma me apoyaron en este camino.

Gracias, ha sido una experiencia muy gratificante.

(página propositadamente em branco)

RESUMO ALARGADO

Palavra-chave: Biomassa, Gasificação, Combustão, ORC, Eletricidade.

O referido projeto tem como objetivo principal a avaliação das capacidades técnicas, económicas e ambientais da ilha do Príncipe (República democrática de S. Tomé e Príncipe) para possibilitar a instalação de uma central piloto (500 kW) de produção de energia elétrica a partir de biomassa captada proveniente de la floresta (resíduos florestais) e campos agrícolas (resíduos agrícolas) com intuito de aumentar a potência total instalada na ilha.

S. Tomé e Príncipe é um país subdesenvolvido e partilha de um dos maiores problemas dos países dessa categoria, a precária produção e distribuição da energia elétrica a população. Em S. Tomé e Príncipe estes problemas são derivados a fraca potência instalada e dependência de combustíveis fósseis. Especificamente na ilha do Príncipe, a situação é ainda mais complicada, situação prendesse com o facto de que o transporte de combustível da Ilha de S. Tomé para a ilha do Príncipe não se processar num regime contínuo, devido ao aumento do consumo pela população da Ilha do Príncipe conjugado com a fraca potência instalada e a falta de condições ideais de armazenamento de combustível, o que origina muitas falhas na distribuição de eletricidade ou uma racionalidade na sua distribuição. A racionalidade de distribuição de eletricidade na ilha do Príncipe segue o princípio de fornecimento em momentos de maior necessidade, isto é: horários em que as famílias se encontram juntas em suas casas (18 as 24h), períodos de maior produtividade da ilha (8 as 12h), com interregnos de várias horas na distribuição. Este princípio não respeita instituições como os hospitais onde a necessidade de energia elétrica permanente é uma necessidade.

Outra motivação para a elaboração deste projeto é o facto de que a ilha do Príncipe a partir de ano 2012 passou a ser uma reserva da Biosfera da UNESCO. Este facto obrigou obviamente a ilha do Príncipe a ter uma maior preocupação com a sustentabilidade ambiental.

Perante essas necessidades, surgiu a necessidade de criação de um projeto que tentasse cobrir as lacunas elétricas da Ilha do Príncipe. O projeto é ambicioso, não só para S. Tomé e Príncipe, mas também para todos os países da região e principalmente aqueles com grande potencialidade em biomassa florestal e agrícola.

Na elaboração do projeto, sentiu-se a necessidade de elaborar uma síntese introdutória denominada “Marco de Tomé e Príncipe”, caracterizada pela exposição de todas as áreas importantes que direta ou indiretamente ligadas ao desenvolvimento do projeto. São aspetos que necessitavam ser estudadas, algumas com detalhe porque representam indicadores dos quais alguns foram tomados em consideração. Estes indicadores serviram também para demonstrar as debilidades de S. Tomé e Príncipe relativamente a projetos desse tipo.

Uma vez tratando-se de um estudo em que a biomassa é um dos principais intervenientes, sentiu-se a necessidade de fazer uma pequena abordagem de forma generalizada sobre a biomassa, descrevendo e definindo os aspetos mais importantes desse recurso como são: as características inerentes da biomassa (tipos de biomassa, composição química, conteúdo em humidade, densidade aparente e poder calorífico), as etapas que sofrem (poda, coleta, transporte, armazenamento e pré-tratamento), formas habituais (pellet, briqueta, graveto, troncos e lenhas palha), rendimentos, as vantagens e inconvenientes. Dessa forma conseguiu-se expor fatores tão importantes como poder calorífico, que é o fator que determina a energia disponível por unidade de massa.

Em continuidade, efetuou-se o estudo detalhado sobre as tecnologias existentes para a transformação de biomassa em eletricidade. Para isso concentrou-se nas duas tecnologias mais comumente usadas para esse fim: Gaseificação termoquímica e ORC (Organic Rankine Cycle) que são tecnologias que seguem princípios de transformação diferentes. A gasificação termoquímica segue um princípio de que a biomassa quando submetida a ação do calor em condições de falta de oxigénio (combustão incompleta), se produzam uma serie de reações divididas por etapas (secado, pirolise e gasificação propriamente dita) que transformam a biomassa em um gás combustível de baixo poder calorífico e de grande interesse energético. O gás resultante (gás de síntese) é um gás composto por monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrogénio (H₂), metano (CH₄), água (H₂O) e resíduos (alcatrão, cinzas e partículas solidas).

Explicou-se com apoio a esquemas todo o processo de gaseificação que se realiza dentro de gasificadores que são normalmente divididos em dos grupos: gasificadores de leito fixo e de leito fluidizado. Esses gasificadores são diferenciados pelo leito ou ambiente interno do gasificador, leito fixo ou fluidizado (manutenção das partículas a gasificar em suspensão). Dentro dos gasificadores, dependendo do agente gaseificante (ar, vapor de água, oxigénio e hidrogénio), são produzidos durante o processo efeitos distintos que fazem variar a composição final e o poder calorífico do gás resultante.

Depois de todo o processo de gaseificação, descreveu-se, sempre de forma teórica todo o processo de limpeza do gás resultante e as tecnologias usuais para esse fim. Referiu-se também a importância desse processo para a transformação do gás de síntese em eletricidade a partir de motores de combustão interna, mencionando alguns exemplos de centrais em funcionamento onde se usa essa tecnologia.

Em seguida efetuou-se a descrição da tecnologia ORC que utiliza um princípio de funcionamento diferente da anterior. Nesta tecnologia princípio básico de funcionamento baseia-se no comumente conhecido ciclo de Rankine ou ciclo básico de Rankine, com a diferença de que em vez da utilização de água como fluido de trabalho, se usa fluidos orgânicos (óleo de silicone, propano, haloalcanos, hidrofluorcarbonos, isopentanos, isobutanos etc.) que a partir de uma fonte de calor inicial do processo (queima de biomassa numa caldeira), aquece o fluido que é alternadamente

vaporizado num evaporador, expandido numa turbina (transformação em energia elétrica) e condensado num condensador depois desta. Os fluidos orgânicos em detrimento da água, dão tecnologia ORC algumas vantagens em comparação ao ciclo básico de Rankine devido a elevada massa molecular, ponto de ebulição que se produz a temperaturas mais baixas e pressões de vapor mais altas que a água, o que permite que o ciclo trabalhe com temperaturas significativamente mais baixas (<300 °C) e com desenhos mais pequenos.

Uma vez discriminados os dois sistemas mais utilizados para a transformação de biomassa em energia elétrica, houve a necessidade de escolher a tecnologia que mais se adequa às características de Príncipe, para isso se fundamentou a escolha nas diferenças técnicas de cada tecnologia, vantagens e desvantagens que cada tecnologia proporciona. Os principais motivos para a escolha da tecnologia de combustão ORC como sendo a tecnologia a utilizar na central são basicamente: a presença de alcatrão e compostos inorgânicos (metais pesados) presentes no gás de síntese; os custos de operação e manutenção ser aproximadamente de metade, com menos risco associado e menor necessidade de inspeção no sistema ORC quando comparado com o sistema de gaseificação, além de que o investimento inicial é maior no sistema baseado na gaseificação.

Uma vez escolhido o sistema a instalar na central, efetuou-se a caracterização e descrição detalhada do mesmo elucidando todos os processos intrínsecos a cada fase ou componente do sistema, tomando como base um esquema detalhado da central ORC proposta.

A partir do esquema da central proposta, dimensionou-se o sistema escolhido tendo em conta todas as condicionantes características da ilha do Príncipe. Para isso estudou-se primeiramente as normativas em que se apoiou o projeto, explicou-se a escolha de potência com base nas necessidades da ilha do Príncipe e de S. Tomé e Príncipe sustentando a escolha no crescimento populacional da Ilha, comparando a situação elétrica de S. Tomé e Príncipe com países semelhantes (insularidade, população total, consumo energético) e países vizinhos.

A partir desses supostos, realizou-se todos os cálculos a partir de uma base de desenho estipulada, utilizou-se o programa de computador de análise, simulação e dimensionamento de modelos de sistemas de refrigeração (CollPack) que permite conhecer as propriedades termodinâmicas dos diferentes fluidos de trabalho nas diferentes condições de operação. Usou-se também uma folha de Excel para efetuar cálculos, analisar, comparar características, dimensionar os componentes do ciclo, o rendimento ORC para os diferentes fluidos de trabalho e apresentar resultados em forma de gráficos e ou tabelas. Os resultados da simulação foram apresentados e comentados com sentido crítico justificando os valores e o fluido escolhido.

Resumo Resultado Simulación R600 (butano)	
<i>Ciclo</i>	<i>Supercrítico</i>
<i>T. Sobrecalentador °C</i>	290
<i>Rend. Ciclo (%)</i>	27,1
<i>m. Vapor (kg/s)</i>	3,60
<i>m. Vapor*Precio (€/s)</i>	3,68
<i>P. evaporación (bar)</i>	50
<i>Agua Refrigeración (kg/s)</i>	32,8

Uma vez dimensionado o sistema, o desafio prendeu-se com o estudo dos recursos. Para isso realizou-se primeiramente a caracterização detalhada da biomassa local, discriminando os tipos de floresta da ilha, tipos de árvores encontradas nessas florestas, poder calorífico dessas árvores, áreas ocupadas, tipos de plantações agrícolas, localização dos pontos de máxima concentração de biomassa e finalmente a avaliação de potencial de biomassa aproveitável que culminou com o cálculo de biomassa aproveitável anualmente tendo em conta o fator humidade inicial de biomassa de 50 % que foi posteriormente reduzida mediante cálculos, para 10 % (condição necessária a entrada no processo).

Tendo em conta a característica do projeto, considerou-se fundamental a elaboração de estudo económico e de viabilidade ambiental. O estudo económico fundamentou-se principalmente pela análise económica do investimento avaliando as receitas, despesas, financiamento e análise de sensibilidade do projeto baseando-se no estudo efetuado pela IRENA em 2012 (International Renewable Energy Agency). O estudo ambiental focou-se na caracterização do sistema operacional, identificação dos impactos onde se descreveu e classificou os impactos, medidas de correção e compensatórias, terminando com um programa de vigilância ambiental.

Finalmente tirou-se as elações conclusivas sobre o projeto, concluindo-se que em termos técnicos, a produção de energia elétrica a partir de biomassa usando a tecnologia ORC destacando uma maior aproximação possível a realidade é possível com a utilização do fluido R600 (Butano) em condições supercríticas com um rendimento de 27 %, com estas características o consumo de biomassa anual é de 4 357,6 toneladas por ano e o recurso total anual estimado de biomassa (resíduo florestal e resíduo agrícola) é de 6 666,7 toneladas por ano, quantidades que dão garantias a instalação da central.

Na mesma senda os estudos económicos e de viabilidades ambiental são positivos, com investimento inicial de aproximadamente 3,4 milhões de euros, com retorno desse investimento a ser feito em 10 anos como demonstrado pelo “Pay Back” e fixando o preço limite de biomassa em 40 €/ton para o VAN e 50 €/ton para o TIR.

RESUMEN

Palabra clave: Biomasa, Gasificación, Combustión, ORC Electricidad.

La presente tesis consiste en la evaluación, análisis de la situación energética de la isla de Príncipe (República Democrática de Santo Tomé y Príncipe), estudio de factibilidad técnica, económica y ambiental para la instalación de una planta piloto de producción de energía eléctrica (500 kW) a partir de biomasa proveniente mayoritariamente del bosque y residuos de la agricultura de la isla, teniendo en cuenta que en el año 2012 la isla ha pasado a hacer una de las 598 reservas mundiales de la biosfera de la UNESCO.

Para la realización de la presente tesis, se han realizado varios estudios: Normativa nacional e internacional para producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables; Situación energética de Santo Tomé y Príncipe en particular la isla de Príncipe; Ubicación de la planta y disponibilidad de los recursos energéticos (biomasa); Sistemas de transformación de la biomasa en energía eléctrica (Gasificación y Combustión) y finalmente se ha realizado la optimización del sistema escogido con el fin de conseguir un mejor rendimiento de la planta y reducir los costes de inversión de la planta.

Después de especificar los parámetros técnicos, la tecnología a aplicar (ORC) y el dimensionamiento de los principales componentes, se procede a la determinación de la viabilidad económica y ambiental del proyecto

(página propositadamente em branco)

ABSTRACT

Keywords: Biomass, Gasification, Combustion, ORC, Electricity.

This thesis consist in the evaluation, analysis of the energy situation in the island of Principe (Democratic Republic of Sao Tome and Principe), technical, economic and environmental feasibility studies for the installation of a pilot plant production of electricity (500 kW) using biomass mainly from forest and agricultural waste from the island, considering that in 2012 the island has become part of the 598 world's reserves of the UNESCO biosphere to undertake.

For the carried of this thesis, it has conducted several study: National and international standards for the production of electrical energy from renewable sources; Energy situation in Sao Tome and Principe and in particular the island of Principe; Plant location and availability of energetic resources (biomass); Transformation systems in electricity (Gasification and Combustion) and finally it has been made the optimization of the chosen system as a way to achieve a better performance of the plant and thereby reduce the investment costs of the plant system.

After the technical parameters are specified, the technology to be applied (ORC) and dimensioning the key components; it will proceed to determine the economic and environmental feasibility of the Project.

(página propositadamente em branco)

TABLA DE CONTENIDO

1. OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO.....	2
2. JUSTIFICACION Y ANTECEDENTES AMBIENTALES.....	4
2.1 Justificaciones ambientales.....	4
2.2 Protocolo de Kyoto.....	5
3. MARCO DE SANTO TOMÉ Y PRÍNCIPE (STP).....	7
3.1 Marco histórico.....	7
3.2 Marco geográfico.....	8
3.2.1 Geografía de la isla de Príncipe.....	8
3.3 Marco Climático.....	9
3.3.1 Clima de la isla de Príncipe.....	11
3.4 Marco político y social.....	11
3.5 Marco Económico.....	13
3.6 Marco de infraestructuras civiles.....	13
3.6.1 Red de carreteras.....	13
3.6.2 Transporte marítimo.....	13
3.6.3 Transporte Aéreo.....	14
3.6.4 Marco eléctrico-energético.....	14
3.7 Marco Legal de Santo Tomé y Príncipe.....	16
3.7.1 Normativa de Referencia.....	16
3.7.2 Clasificación de las instalaciones de producción y de la biomasa a utilizar.....	17
4. BIOMASA.....	18
4.1 Introducción general.....	18
4.2 Características de la biomasa.....	19
4.2.1 Tipos de Biomasa.....	19
4.2.2 Composición química y física.....	20
4.2.3 Contenido de humedad.....	20
4.2.4 Porcentaje de cenizas.....	20
4.2.5 Densidad aparente.....	21
4.2.6 Poder calorífico.....	21
4.3 Etapas de la biomasa.....	22

4.3.1	Proceso de poda, recolección y transporte.....	22
4.3.2	almacenamiento de la biomasa	23
4.3.3	Pre-tratamiento.....	24
4.3.4	Alimentación de la caldera	25
4.4	Formas habituales de la biomasa.....	25
4.4.1	Pellets	25
4.4.2	Briquetas	26
4.4.3	Astillas	27
4.4.4	Troncos y Leños.....	27
4.4.5	Paja	28
4.5	Rendimiento de la Biomasa.....	28
4.6	Ventajas e inconvenientes de la utilización de biomasa.....	29
5.	TECNOLOGIAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE BIOMASA PARA LA PRODUCCION DE ENERGÍA ELÉCTRICA	30
5.1	Gasificación Termoquímica	31
5.1.1	Etapas y reacciones de la Gasificación	32
5.1.2	Agentes Gasificantes	33
5.1.3	Tipos de Gasificadores.....	34
5.1.4	Syngas – Propiedades.....	39
5.1.5	Tratamiento del syngas (depuración y refrigeración)	40
5.1.6	Usos del Syngas (ejemplos de instalaciones)	41
5.1.7	Motores de Combustión interna de Gas.....	42
5.1.8	Estado actual de los gasificadores.....	44
5.1.9	Instalaciones de generación eléctrica con syngas.....	45
5.2	Tecnología ORC (Organic Rankine Cycle)	51
5.2.1	Funcionamiento del ORC.....	54
5.2.2	Cogeneración.....	57
5.2.3	Fluidos de trabajo.....	57
5.2.4	Fuentes de calor	59
5.2.5	Eficiencia.....	65
5.2.6	Aplicabilidad de la tecnología ORC.....	66
5.2.7	Fabricantes	68
6	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN.....	70
6.1	Diferencias técnicas.....	70

7.	DESCRIPCION DEL SISTEMA.....	73
7.1	Componentes del sistema	73
7.1.1	Caldera	74
7.1.2	Evaporador	77
7.1.3	Condensador	77
7.1.4	Máquina de expansión	78
7.1.5	Regenerador	79
7.1.6	Bomba	79
7.1.7	Sistemas auxiliares	80
7.2	Modelo matemático.....	80
8	DIMIENCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE LA PLANTA – ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO.....	87
8.1	Bases de diseño	87
8.2	Elección del Fluidos de trabajo.....	90
8.2.1	Especificación según las características de los fluidos de trabajo	90
8.2.2	Simulación en CoolPack.....	98
8.3	Agua de refrigeración.....	105
8.4	Estimación de cantidades de Biomasa necesaria.....	105
8.5	Calculo de calor necesario para el secado artificial de la biomasa	106
8.6	Requisitos constructivos	109
8.6.1	Sistema de transporte de biomasa	109
8.6.2	Sistema de astillado, secado y almacenamiento	111
8.6.3	Sistema de combustión de biomasa	112
8.6.4	Sistema de transformación de energía eléctrica en energía mecánica	113
8.7	Localización	115
8.8	Necesidad de personal	117
9	ESTUDIO DE LOS RECURSOS	118
9.1	Caracterización de los recursos.....	118
9.1.1	Biomasa forestal (residuo forestal)	118
9.1.2	Biomasa agrícola	120
9.2	Localización de puntos de máxima concentración de biomasa.....	125
9.2.1	Áreas de biomasa aprovechable	126
9.3	Evaluación de potencial de aprovechamiento de biomasa	127
10	CONCLUSIÓN	131

11 ESTUDIO ECONOMICO	133
11.1 Introducción	133
11.2 Inversión.....	133
11.3 Ingresos y gastos (evaluación).....	136
11.3.1 Costes operativos	136
11.3.2 Ingresos	138
11.2 Financiación.....	139
11.3 Análisis económico.....	140
11.4 Análisis de sensibilidad.....	144
12 ESTUDIO DE VIABILIDAD AMBIENTAL.....	147
12.2 Introducción	147
12.1 Caracterización del sistema operacional.....	147
12.2 Fase de identificación de los impactos.....	147
12.3 Medidas protectoras, correctoras y compensatorias	152
12.3.1 Medidas para la fase de construcción.....	152
12.3.2 Mediadas para la fase de funcionamiento.....	152
12.4 Programa de vigilancia ambiental.....	153
13 BIBLIOGRAFIA	155
14. ANEXOS	164

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Gases con efecto invernadero	6
Tabla 2. Potencia instalada en STP	15
Tabla 3. Poderes caloríficos de distintas biomásas	21
Tabla 4. Reacciones químicas en la gasificación	33
Tabla 5: Composición del syngas.....	40
Tabla 6. Especificaciones del motor a gas tipo 3 Jenbacher	44
Tabla 7: Características de la planta de Zaragoza – <i>TAIM WESER</i>	46
Tabla 8: Gasificadores disponibles - ENERGRUP	47
Tabla 9. Composición del syngas – ENERGRUP	48
Tabla 10. Datos energéticos del gasificador – EQETEC	50
Tabla 11. Aceites térmicos más comunes	77
Tabla 12. Tabla comparativa de consumos de electricidad	88
Tabla 13. Características de los fluidos simulados	97
Tabla 14. Tabla resumen de condiciones iniciales	99
Tabla 15. Tabla resumen de los resultados de la simulación	105
Tabla 16. condiciones iniciales	105
Tabla 17. Almacenamiento de la central.....	112
Tabla 18. Características principales del aceite térmico Therminol 55	113
Tabla 19. Parámetros relativos a la turbina o expansor	114
Tabla 20. Poderes caloríficos de las biomásas provenientes de bosque secundario y de sombra. Adaptado de (Oliveira Ferreira, 2013)	120
Tabla 21. Resumen de características físicas de fruto de cacao (CAMELO MORORÓ, 2012) ...	123
Tabla 22. Poder calorífico superior para distintas fuentes de biomasa	125
Tabla 23. Distancias entre los puntos de máxima concentración de biomasa y planta Piloto .	126
Tabla 24. Área de las grandes plantaciones en Príncipe	126
Tabla 25. Parámetros del análisis económico de la planta	143
Tabla 26. Elementos generadores del Impacto.....	148
Tabla 27. Elementos receptores del impacto.....	148
Tabla 28. Matriz elementos generadores y receptores del impacto	149
Tabla 29. Resume elementos generadores y receptores –mecanismos.....	149
Tabla 30. Matriz elementos receptores del impacto - Importancia	151

(página propositadamente em branco)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Alineamiento volcánico (Atlas São Tomé e Príncipe, 2012)	8
Figura 2. Encuadramiento geográfico de la isla de Príncipe	9
Figura 3. Clima de la isla de Príncipe (Educa Plus, 2012)	11
Figura 4. Generación de biomasa (IDAE, Enero 2007)	18
Figura 5. Logística de la biomasa.....	23
Figura 6. Detalle de una transportadora	25
Figura 7. Pellets	26
Figura 8. Briquetas	26
Figura 9. Astillas	27
Figura 10. Troncos y Leños	28
Figura 11. Paja	28
Figura 12. Gasificación de biomasa en función del agente gasificante.....	32
Figura 13. Etapas de gasificación de biomasa	33
Figura 14. Gasificador de lecho fijo Updraft	35
Figura 15. Gasificador de lecho fijo Doudraft	36
Figura 16. Gasificador de lecho fijo Crossdraft	37
Figura 17. Gasificador de lecho fluidizado burbujeante y circulante.....	38
Figura 18. Gasificador de lecho de arrastre	39
Figura 19. FGLD SERIE MOTOR (Dresser-Ran, 2015)	43
Figura 20. Motor tipo 3, J 312 GS (ge-energy, s.f.).....	44
Figura 21. Gasificador TAIM WESER (TaimWeser, 2012)	46
Figura 22. Gasificador downdraft (ANKUR CAEMA) (CAEMA, 2012)	47
Figura 23. Esquema de gasificación – EENERGRUP (ENERGRUP, 2014).....	48
Figura 24. Planta de gasificación EQTEC Sorgenia SPA	50
Figura 25. Esquema de una planta de cogeneración powermax Teneng	51
Figura 26. Evolución del mercado ORC (ENERTIME, 2015)	52
Figura 27. Diagramas T-S de agua y diversos fluidos ORC típicos (Sylvain QUOILIN, 2012)	52
Figura 28. Ciclo ORC básico y diagrama T-S (LÓPEZ-ABENTE MUÑOS, 2013)	54
Figura 29. ORC con recuperador y diagrama T-S (LÓPEZ-ABENTE MUÑOS, 2013)	55
Figura 30. Gráfico de potencia – Eficiencia (SPLIETHOFFS & SCHUSTER, 2006)	56
Figura 31. Configuración ciclos críticos y supercríticos (LÓPEZ, 2010)	56
Figura 32. Los tres tipos de fluidos de trabajo: Seco, isentrópico y húmedo (CHEN, et al., 2010).	58

Figura 33. Rango de temperaturas de los fluidos (Enertime, 2009)	59
Figura 34. Potencias geotérmicas instaladas en el mundo (IDAE, 2011)	61
Figura 35. Potencial de energía geotérmica en Europa para distintos rangos de temperatura de la fuente de calor (QUOILIN, 2011)	61
Figura 36. Principio de funcionamiento de un sistema ORC geotérmico	62
Figura 37. Principio de funcionamiento de un ORC solar (QUOILIN, 2011)	63
Figura 38. Principio de funcionamiento de un ORC para recuperación de calor residual industrial	64
Figura 39. Participación de distintas fuentes de calor en plantas ORC (Quoilin at al., 2013).....	65
Figura 40. Diagrama de Sankey para la cogeneración con biomasa ORC (BINI & VISCUSO, Ca. 2013)	66
Figura 41. Efecto del rendimiento interno de la bomba sobre el rendimiento total del ORC....	66
Figura 42. Tecnología para diferentes fuentes de calor residual (GOEL, 2014).....	68
Figura 43. Comparación Retorno de la inversión entre el ORC y gasificación (RENTIZELAS, 2009)	71
Figura 44. Comparación de los costes de la inversión inicial entre el ORC y gasificación (RENTIZELAS, 2009)	72
Figura 45. Esquema de la planta ORC propuesta.....	73
Figura 46. Detalle de una caldera acuoturbular.....	74
Figura 47. Detalle de una caldera piroturbular	75
Figura 48. Evaporador	77
Figura 49. Condensador	78
Figura 50. Expansores (desplazamiento positivo).....	79
Figura 51. Bomba	80
Figura 52. Esquema del ORC regenerativo.....	81
Figura 53. Consumo de electricidad per cápita en STP	87
Figura 54. Conductividad térmica para diferentes fluidos (NOUMAN, 2012)	91
Figura 55. Viscosidad para diferentes fluidos de (NOUMAN, 2012)	92
Figura 56. Esquema ORC propuesto para la simulación	98
Figura 57. Grafica comparativas del rendimiento de los fluidos	102
Figura 58. Grafica comparativa de los flujos másico de los fluidos	103
Figura 59. Variación del rendimiento con el aumento de la presión.....	104
Figura 60. Variación del rendimiento con el aumento de la presión.....	104
Figura 61. Tratamiento de biomasa dentro del bosque.....	109
Figura 62. Camión Volvo FE.....	110

Figura 63. Configuración del vehículo de transporte	110
Figura 64. Pala Cargadora Caterpillar 908H2	110
Figura 65. Proceso de transporte de Biomasa	111
Figura 66. Características de la rastilladora PEZZOLATO serie PTH 700/660.....	111
Figura 67. Características del trómel de secado	112
Figura 68. Esquema de la caldera Global – OD	113
Figura 69. Módulo ORC 125 kW	115
Figura 70. Localizaciones posibles.....	116
Figura 71. Plan de localización de la planta y Hospital	117
Figura 72. Localización de los bosques primario y secundario y de sombra	119
Figura 73. Estimación del área de cultivo	122
Figura 74. Evolución exportación de cacao en STP. (Direção de comércio, Ca. 2009)	123
Figura 75: Fracción de cacao, corte transversal y longitudinal	124
Figura 76. Presentación de: (A) Cáscara de coco, (B) Cáscara de café, (C) Semilla de palma, (D) Bagazo de caña.....	124
Figura 77. Localización de los puntos de máxima concentración de biomasa	126
Figura 78. Área de las plantaciones	127
Figura 79. Costes de inversión	136
Figura 80. Evolución del cash flow	143
Figura 81. Sensibilidad de la TIR con el precio de biomasa.....	144
Figura 82. Sensibilidad del VAN con el precio de la biomasa.....	144

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Rendimiento según la clasificación de las instalaciones de producción y de la biomasa a utilizar incluidas en el grupo b.6	17
Ecuación 2. Rendimiento del ciclo	65
Ecuación 3. Conservación de masa y energía	81
Ecuación 4. Calor absorbido por el fluido en el evaporador	81
Ecuación 5. Rendimiento de la turbina	82
Ecuación 6. Trabajo generado por la turbina	82
Ecuación 7. Rendimiento del regenerador.....	83
Ecuación 8. Calor rechazado por el condensador	83
Ecuación 9. Potencia de la bomba	84
Ecuación 10. Rendimiento de la bomba.....	84
Ecuación 11. Contenido de humedad de la biomasa	84
Ecuación 12. Porcentaje de humedad de la biomasa en base seca	84
Ecuación 13. Porcentaje de humedad en base húmeda	85
Ecuación 14. Rendimiento total de la instalación	85
Ecuación 15. Consumo de biomasa seca.....	86
Ecuación 16. PCI húmedo.....	86
Ecuación 17. Consumo de biomasa húmeda	86

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Características de Calderas	165
ANEXO 2. Características del Aceite térmico Therminol 55	167
ANEXO 3. Características rastilladoras PEZZOLATO	169
ANEXO 4. Características de vehículo de transporte de biomasa Volvo FE	173
ANEXO 5. Características de pala cargadora Caterpillar 908H2	176
ANEXO 6. Software CollPack	180

LISTA DE SIMBOLOGIAS

STP	Santo Tomé y Príncipe
ORC	Organic Rankine Cycle
IDAE	Instituto para la diversificación y ahorro energético
Ktep	Tonelada equivalente de petróleo
Cm	Centímetro
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cubico
T	Temperatura
η	Rendimiento
ṁ	Másico
Ẇ	Potencia
Kg	Kilogramo
h	Entalpia
s -	Entropía
Evap	Evaporador
Cond	Condensador
Tv	Turbina de vapor
Th	Térmica
A	Área
N/m ³	Normal metro cúbico
kW	Kilovatio
MCI	Motores de combustión interna
PCI	Poder calorífico inferior
VAN	Valor Actual Neto
TIR	Tasa Interna de Retorno
CASH FLOW	Flujo de caja
PAY BACK	Periodo de recuperación de la inversión
SYNGAS	Gas de síntesis

Estudio de factibilidad para la instalación de una planta piloto para la generación de energía eléctrica con biomasa en la isla de Príncipe (R. D. de Santo Tomé y Príncipe)

DOCUMENTO 1: MEMÓRIA

0. OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO

El presente trabajo denominado “Estudio de factibilidad para la instalación de una planta piloto para la generación de energía eléctrica con biomasa en la isla de Príncipe (R. D. de Santo Tomé y Príncipe)” tiene la finalidad de estudiar las potencialidades de la isla de Príncipe (Santo Tomé y Príncipe) para la producción de electricidad a partir de biomasa.

El estudio se basa fundamentalmente en una recopilación general de la bibliografía en temática biomasa, las tecnologías existentes para la transformación de biomasa en electricidad, estudio detallado de la biomasa de la isla de Príncipe (Tipo, calidad, cantidad, logística, etc...) y otros estudios técnicos necesarios para implementación de un proyecto ambicioso e innovador en una localidad con características tan peculiares como es la isla de Príncipe.

Será un proyecto de cogeneración con producción de energía eléctrica y producción de calor. Se aprovechará los gases de combustión a la salida de la caldera de aceite térmico para suministrar calor necesario para al secado de la biomasa (reducción de humedad).

El objetivo del proyecto pasará también por la realización de un estudio económico y de viabilidad ambiental par a la instalación de la planta.

1. JUSTIFICACION Y ANTECEDENTES AMBIENTALES

1.1 Justificaciones ambientales

Actualmente se conoce varias formas de producción de energías auxiliares a la convencional, esta variedad de formas alternativas de producción energética tiene como objetivo fundamentalmente disminuir el consumo de combustibles fósiles en la producción de la energía eléctrica. Para lograr este objetivo, la comunidad tecnológica viene desarrollando nuevas formas de energías renovables y mejorando y optimizando las existentes.

En las últimas décadas, el consumo de energía aumentó considerablemente debido a muchos factores, entre ellos la subida del nivel de vida o el claro crecimiento de los países emergentes. Estos factores han proporcionado un aumento del conocido efecto invernadero. Para lograr un posible control de las emisiones que causan este efecto, muchos países accedieron y firmaron el conocido Protocolo de Kioto estudiado en el apartado siguiente.

La isla de Príncipe (República Democrática de Santo Tomé y Príncipe) más allá de las justificaciones mencionadas, presenta las características siguientes:

- La isla es cien por cien dependiente del exterior en el suministro de combustible fósil para la producción de energía eléctrica.
- La comunidad de la isla es bastante pequeña con 7 324 habitantes (**Instituto Nacional de Estadística STP, Septiembre de 2012**), no haciendo falta grandes, ni muchas instalaciones de suministro energético.
- Tiene una población mayoritariamente joven y con carencia de empleo.
- La isla es Reserva Mundial de la Biosfera de la UNESCO desde 2012/07/11. Esta distinción es fundamental para que la isla tenga una responsabilidad en la conservación del patrimonio natural, diversidad biológica, paisajes, las especies y los ecosistemas; la promoción de un desarrollo socioeconómico sostenible; preservación de las tradiciones y costumbres; valorización de los productos locales; formación y educación ambiental; desarrollo de las experiencias económicas como atracción de inversión en turismo, reconocimiento internacional, fomento de investigación científica acrecentando valor a modo de vida y a la economía de la isla y del país.

La instalación de una planta piloto de producción de energía eléctrica con biomasa en la isla de príncipe, no obstante los beneficios que trae con ella, puede desencadenar un cambio de mentalidades en la población y gobernantes de este pequeño país y fomentar la promoción

de instalación de nuevas instalaciones semejantes en todo el país y cambio de mentalidad también de los países vecinos, proporcionando una apuesta fuerte en la generación de electricidad a partir de biomasa, combustible este que nos es muy bien aprovechado en los países vecinos.

1.2 Protocolo de Kyoto

Son muchas las consecuencias del aumento del efecto invernadero en la Tierra, este aumento provoca la retención de parte de la radiación solar incidente de forma que aumenta la temperatura de la tierra. El aumento de la temperatura terrestre es responsable por el cambio climático que trae acompañado en sí, episodios de inundaciones, sequias, tormentas etc. Por consiguiente, el aumento de la temperatura terrestre es responsable del aumento del nivel del mar que conlleva la contaminación de aguas dulces y desaparición de las poblaciones costeras.

Debido al creciente desarrollo industrial y consecuente aumento de las emisiones de gases causantes del efecto invernadero, se creó un instrumento internacional para complementar a la convención de las Naciones Unidas sobre el cambio climático denominado el Protocolo de Kyoto. El dicho protocolo fue firmado en la ciudad de Kyoto en Japón conteniendo por primera vez un acuerdo vinculante entre los países más contaminadores (países mayoritariamente del hemisferio norte- Anexo I del protocolo) a reducir sus emisiones. Estos países se comprometieron a reducir las emisiones totales de gases con efectos invernaderos, un mínimo del 5,2% por debajo de los niveles de 1990, en un periodo comprendido entre 2008 e 2012, a este periodo se le llamó el primer periodo del compromiso. El Protocolo prevé también una disminución de las emisiones de los gases de los países de la Unión Europea en 8%, Estados Unidos 7% y Japón 6% (Naciones Unidas, 1998). Para los países en vías de desarrollo (no listados en el Anexo I), como es el caso de Brasil, México, India y principalmente China, no recibieron metas de reducción momentáneamente, pero se estableció a ellos medidas para que el crecimiento de las emisiones fuese limitado por la aplicación de medidas propicias.

La meta pretendida para el primer periodo es bastante difícil de conseguir, ya que por los datos existentes, en el periodo de 1990 – 2005 los países listado en el Ane I del protocolo las emisiones han aumentado en 11%. El referido Protocolo entro en vigor en 16 de Febrero 2005, después de atendidas las condiciones que exigían la ratificación, por el mínimo del 55% del total de países miembros de la convención y que eran responsables al menos del 55% de las emisiones total de 1990 (Naciones Unidas, 1998).

El Protocolo de Kioto, más allá de discutir e implementar las medidas de reducción de los gases, incentiva y establece medidas para la sustitución de productos provenientes del petróleo por aquellos que provocan menos impacto.

Los Estados Unidos (el país más emisor de gases del mundo – aproximadamente 25% del total) se desligó del Protocolo, alegando que las reformas propuestas de reducción por el Protocolo comprometerían la evolución de su economía y por no fijar metas de reducción de gases con efecto invernadero a países como China e India.

En 8 de Diciembre de 2012 en Doha Qatar se prolongó el Protocolo hasta 2020 y a parte de la ya conocida ausencia de los Estados Unidos, países como Canadá, Japón, Nueva Zelanda y Rusia optaron por quedar fuera del acuerdo. Solamente países responsables por 15% de las emisiones mundiales firmaron el acuerdo para el horizonte 2020 (Naciones Unidas, 1998), lo que demuestra la fragilidad del protocolo por la ausencia de los países más contaminadores.

Tabla 1. Gases con efecto invernadero

Dióxido de Carbono (CO₂)
Metano (CH₄)
Óxido Nitroso (N₂O)
Hidrofluorocarbonos (HFC)
Perfluorocarbonos (PFC)
Hexafluoruro de Azufre (SF₆)

Fuente: Protocolo de Kyoto, 1998

2. MARCO DE SANTO TOMÉ Y PRÍNCIPE (STP)

2.1 Marco histórico

De acuerdo a los registros históricos, STP fue descubierto por los portugueses en los años de 1470 (21 Diciembre) y 1471 (17 de Enero) (AIP/ACC - Associação Industrial Portuguesa, Noviembre 2004) por João de Santarém y Pedro Escobar. Cuando la llegada de los portugueses, las islas estaban desierta y se inició su población con la llegada de los primeros colonos a **Ana Bó**¹ en 1485, las islas fueron donadas por **D. João II** al **D. João de Paiva**. Hay una controversia histórica que dice que cuando llegaron los portugueses a las islas por la parte norte de la misma (**Ana Bó**), en la isla de Santo tomé, la misma ya estaba habitada por **Angolares**² que residían en la parte sur de la misma.

STP sobresalió en la época colonial por sus plantaciones de caña de azúcar (introducida en 1501, principal productor africano en el siglo XVI), café (introducido en 1800) y cacao (introducido en 1822) (AIP/ACC - Associação Industrial Portuguesa, Noviembre 2004). Estas plantaciones fueron introducidas en el archipiélago por los colonizadores portugueses e hicieron del pequeño país en la época uno de los principales países productores de estos productos, caso del cacao en que el país llegó a ser el principal productor mundial algunos años después de la I Guerra Mundial. Este hecho se basó en la mano de obra de los esclavos que trabajaban en las llamadas **Roças**³ que eran pertenecientes a las familias y/o empresas dominantes del sector. Estas **Roças** constituían auténticos estados dentro del territorio del País, todo esto debido a la independencia y poder económico y social de las mismas.

El cacao es todavía hoy la principal cultura y producto de exportación del país, corresponde a casi la totalidad de las reducidas exportaciones del país.

Las islas servían también como un importante puesto de comercio transaccional entre Portugal y Brasil para el transporte de los esclavos de toda la costa del Golfo de Guinea para las grandes plantaciones en Brasil. Estés esclavos eran capturados en las regiones hoy correspondientes a Ghana, Togo y Benín. Solo en 1875 después de la abolición de la

¹¹ Ana Bó es el nombre de la localidad donde desembarcaron los primeros navegante portugueses en la isla de Santo Tomé.

² Angolares son los pueblos que se supone ya existían en la zona sur de la isla de Santo Tomé antes de la llegada de los portugueses a la isla. Se piensa que empezaron a habitar la isla después del naufragio de un navío proveniente da la costa Africana.- Este hecho no es banal de casa a posibles reclamaciones futuras.

³ Roças son zonas rurales donde los colonos tenían sus plantaciones y administraban la misma para la producción del cacao, café y caña de azúcar.

esclavitud, la mano de obra pasó a ser de contratados provenientes de Angola, Guinea Bissau, Mozambique y Cabo Verde a partir de 1940. Esta diversidad de raza en la colonización y población resultó también en una diversidad racial y cultural que aun hoy se nota en los pueblos de las islas.

2.2 Marco geográfico

La República Democrática de STP está constituida por las islas de Santo Tomé, isla de Príncipe y varios islotes, forman un archipiélago situado en el Golfo de Guinea, a 380 Km de la costa occidental de África. Las Islas de Santo Tomé y Príncipe forman en conjunto geológico de carácter volcánico con las islas Fernando Poo (Actual Bioko) y Annobon (Pagalú) que forman parte del territorio de Guinea Ecuatorial en un alineamiento volcánico orientado en sentido Nordeste-Sudoeste, como prolongamiento de los volcanes de Camerún.

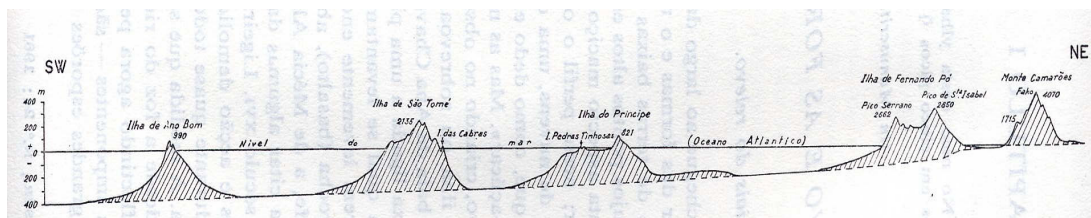


Figura 1. Alineamiento volcánico (Atlas São Tomé e Príncipe, 2012)

El archipiélago es el resultado de la actividad volcánica antigua, pues, es escabroso con montañas que alcanzan poco más de 2000 m de altura. La superficie total de las islas es de 1001 Km², Santo Tomé la isla mayor tiene 859 Km² y Príncipe la isla menor con 142 Km², haciendo de esta República Democrática el segundo país más pequeño de África después de la Seychelles (AIP/ACC - Associação Industrial Portuguesa, Noviembre 2004).

2.2.1 Geografía de la isla de Príncipe

La isla Príncipe se localiza a 150 Km a Noroeste de Santo Tomé y comparte el Golfo de Guinea con países como Gabón, Guinea Ecuatorial, Camerún, Nigeria, Benín, Togo, Ghana y Costa de Marfil. De las dos islas que componen el archipiélago es la que está relativamente más cerca del continente.



Figura 2. Encuadramiento geográfico de la isla de Príncipe

2.3 Marco Climático

El clima de STP es peculiar, debido a la insularidad teniendo influencias de las corrientes del golfo y caracterizada también por el cruce de los vientos del hemisferio norte y sur, teniendo una zona de convergencia intercontinental (ZCIT). La distancia a los continentes es suficiente para que se verifique una climatología propicia y paisaje peculiar, típicamente tropical húmedo con dos estaciones anuales. La lluvia correspondiente a nueve meses del año (Septiembre y Mayo) que normalmente es la época en que hace más calor y la seca e fresca denominada de Gravana⁴ (Junio y Agosto). La temperatura está bastante influenciada por el relieve y la media anual varía de 26° a 30° C en las regiones costeras y 22° C en zonas montañosas. La humedad del aire es bastante elevada pudiendo presentar, en zonas altas, una media de 92% todo el año y en zonas más bajas entre 70 e 80% durante el año (Ministerio dos recursos naturais e meio ambiente, ca.2003).

Debido a las características del relieve hay una variedad de microclimas, esta situación influye en la variedad de la pluviosidad, del orden de los 6000 mm en zonas elevadas (SW de las dos islas) y 1000 mm en zonas bajas (N-NE de las dos islas).

En términos hidrográficos, los caudales de los ríos son dependientes de la gran variabilidad en el espacio y tiempo que existe en la precipitación, que puede tardar entre minutos a varios

⁴ Viento fresco del sur sureste, que sopla en el golfo de Guinea especialmente cerca de Santo Tomé y Príncipe.

días, provocando inundaciones de volumen variado. La red hidrográfica está compuesta por más de 50 cursos de agua de longitud variable entre 5 y 27 km e un desnivel de 1000 y 1500 m. Son mayoritariamente alimentados por la precipitación durante las estaciones de lluvia, pero también por cursos subterráneos en las épocas secas. Los principales ríos en el país son: río Yô Grande (Rio Grande en criollo forro⁵) el mayor del país, río do Ouro, río Manuel Jorge, río Abade y río Papagaio en la isla de Príncipe.

Los ríos ocupan un volumen global de 2,1 millones de m³ de agua por km², lo que presupone una capacidad de abastecimiento de agua del orden de 10.000 m³ por año y por habitante. Más de 60% de los cursos de agua sitúan en las zonas de mayor precipitación, en el Sudoeste e Sur de las dos islas. Importa señalar que en las últimas décadas, la precipitación viene disminuyendo y concernientemente disminuyó también el caudal de los ríos (Ministerio dos recursos naturais e meio ambiente, ca.2003).

En términos forestales con base en la estratégica nacional e plano de acción de la biodiversidad el país dispone de 4 tipos fundamentales (Ministerio dos recursos naturais e meio ambiente, ca.2003):

1. Una foresta densa y húmeda situada en las zonas altas con un relieve bastante abrupto y de difícil acceso. Ese tipo de foresta corresponde hoy a los designados parques naturales (Obô).
2. La “Capoeira” bosque secundario, situase alrededor de del “Obô” y corresponde a las antiguas plantaciones de café y Cacao abandonadas y en que ellas crecieron grandes árboles localizadas en altitudes intermedias con paisaje agreste de difícil acceso.
3. Bosque de sombra es donde hoy se plantan cacao e café y tiene una cobertera más o menos densa con plantas introducidas en la isla.
4. “Savana” es un tipo de vegetación típica de las regiones con clima tropical y estación seca bien definida predominante en la región Nordeste de la isla de Santo Tomé y es caracterizada por poca precipitación (< 1000 mm/año) en comparación con el resto del país, es una zona demarcada siempre seca y con relieve mayoritariamente plano. Esa característica plana arbórea de tonalidad marón solo es interrumpida por algunos árboles de pequeña dimensión y arbustos singulares que contrastan con el resto del país. Se cree que este tipo de paisaje en la isla tiene sus comienzos con las quemadas producidas por los colonos en la plantación de caña de Azúcar.

⁵ Segunda lengua más hablada en STP, lengua que deriva del portugués de los siglos XV y XVI.

2.3.1 Clima de la isla de Príncipe

En términos comparativos las dos islas tienen un clima idéntico, aunque con existencias de microclimas hablados anteriormente. La isla de Príncipe es un poco más húmeda y tiene en general mayor precipitación que la isla de Santo Tomé (fig.3).

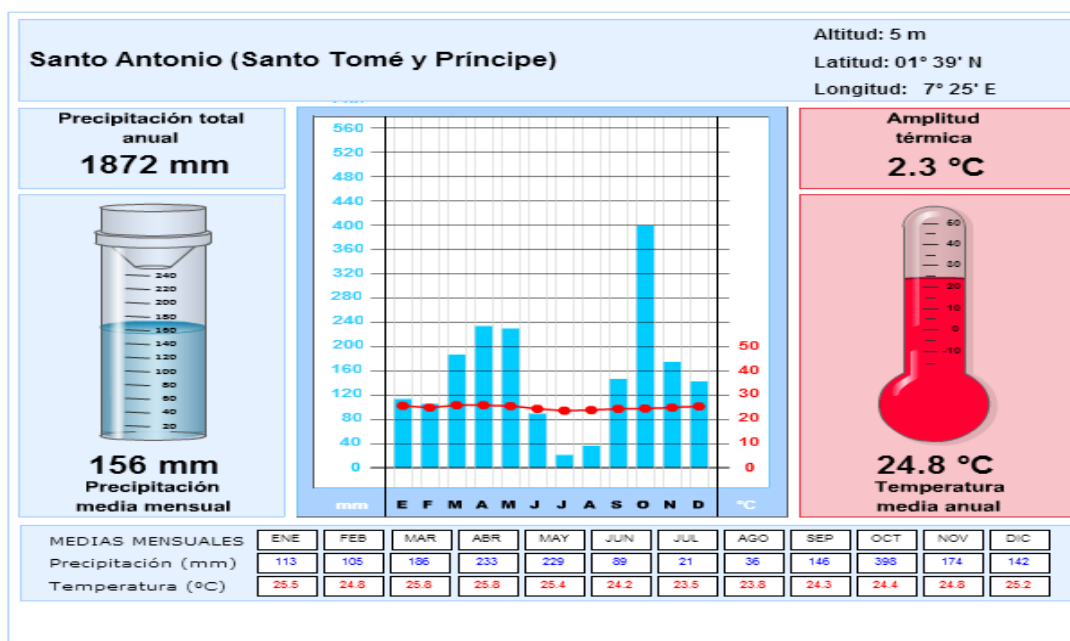


Figura 3. Clima de la isla de Príncipe (Educa Plus, 2012)

2.4 Marco político y social

El portugués es la lengua oficial de STP, pero antes de ser lengua oficial, en el país se hablaba una gran variedad de lenguas. Debido a la influencia de los habitantes que venían de varios países de la costa del Golfo.

Después de la creación del movimiento de liberación de los países colonizados por Portugal en 1960, surge en STP el comité de liberación en 1972, el mismo que daría lugar al MLSTP (Movimento de Libertação de São Tomé e Príncipe). Después de la revolución de Abril de 1974, el Gobierno portugués acordó con el MLSTP el 26 de Noviembre de 1974 en Argel un gobierno de transición e proclamación de la independencia de STP. La independencia del país surge en 12 de abril de 1975, el país pasa a denominarse República Democrática de STP, presidido por Manuel Pinto da Costa, líder del MLSTP. El país sigue orientado por el régimen socialista de partido único en que el estado tiene el control absoluto de todas actividades socio-económicas e culturales.

En agosto de 1990, como reflejo de la caída del muro de Berlín y del fin de la guerra fría, fue aprobado en referéndum popular, una nueva constitución que pone fin al antiguo régimen

descrito anteriormente. Se instala el sistema que actualmente existe, el sistema multipartidista que abre camino a un régimen político democrático en una economía de mercado basada en la libre iniciativa y competencia en el plan económico.

Los presidentes de la República Democrática de STP son elegidos por sufragio universal por un periodo de 5 años, con un límite de dos mandatos sucesivos.

El gobierno es nombrado por el Presidente de la República con propuesta del Primer Ministro elegido de acuerdo con los resultados de las elecciones legislativas.

La Asamblea Nacional, constituida por 55 diputados, elegidos por un periodo de 4 años por sufragio universal, constituye el poder legislativo.

El Supremo Tribunal de Justicia, en el cual los miembros son nombrados por la Asamblea Nacional y por los restantes tribunales constituye el poder judicial.

En la isla del Príncipe hay un Gobierno Regional Autónomo en términos políticos y administrativos desde 1994, con un Presidente y una Asamblea Regional constituida por 7 diputados regionales (AIP/ACC - Associação Industrial Portuguesa, Noviembre 2004).

La isla de Santo Tomé está dividida en seis distritos, priorizados por la densidad de población: Agua Grande, Mé Zochi, Cantagalo, Caué, Lobata, Lembá. La capital de la República es Ciudad de Santo Tomé.

STP es un país que depende mucho de la ayuda externa, es un país con un nivel bastante elevado del índice de pobreza. Aproximadamente 54% de la población vive en pobreza y 15% en pobreza extrema. Los indicadores sociales vienen mejorando pero muy sutilmente.

Según el Instituto Nacional de Estadística de STP, basado en el censo general de población de 2012, el país tiene 179 200 habitantes, de ellos 89.187 son hombres y 90.013 mujeres. De acuerdo a estos datos y los captados en 2001, la población ha aumentado en aproximadamente 41 400 individuos más (Instituto Nacional de Estadística STP, Septiembre de 2012).

La población joven compone la gran parte de la población. Como ejemplo, en el censo de 2012. 86 060 individuos tienen edad comprendida entre los 0 y 17 años y 6 590 tiene 65 años o más. En la isla de Príncipe el número total de habitantes es de 7 324, según censo de 2012.

El portugués es la lengua oficial pero se habla también otros idiomas (criollos), Forro, Angolar y Lunguiye.

2.5 Marco Económico

STP tiene una de las más pequeñas economías de África. La agricultura continua siendo la principal fuente de rendimiento del país, el cacao continúa siendo el principal producto de exportación con aproximadamente el 90%. Hay todavía otros productos de exportación, como es el caso del café, aceite de palma y coco.

La dependencia del apoyo externo del país es extremadamente grande, aproximadamente 85% de su presupuesto es financiado por sus socios de desarrollo. La economía es extremadamente vulnerable a cambios externos y el crecimiento de la misma bajo de 5,5% al 4% en el año de 2012. El PIB fue de \$263, 4 millones, registrando crecimiento del 4% en 2012. El Rendimiento Nacional Bruto per cápita es de 2 080 USD en 2011. La tasa de inflación viene bajando considerablemente, de 26% en 2008, 14% en 2010, 9,6% en 2012 y 8 en 2013.

La moneda de STP es la Dobra, que tiene una tasa de conversión fija para el euro actualmente en 1 Euro = 24 000 Dobras.

El país sigue con dificultades debido a la deuda externa que acumula y los gobernantes depositan mucha esperanza en el futuro del petróleo “off Shore” petróleo que tarda en ser una realidad.

2.6 Marco de infraestructuras civiles

2.6.1 Red de carreteras

STP posee una red de carreteras en crecimiento de 212 Km asfaltadas, estando compuestas por carreteras nacionales, secundarias y rurales. El transporte de personas está garantizado esencialmente por taxis que hacen carreras entre los principales centros residenciales. El transporte de mercancías está garantizado por pequeñas y micro empresas de transporte.

La degradación de las carreteras rurales es bastante visible, lo que es un factor bastante prejudicial, principalmente para los agricultores en el transporte de sus productos.

2.6.2 Transporte marítimo

El sector marítimo está caracterizado por pequeñas empresas compuestas por barcos pequeños que mantienen la relación entre las dos islas. La seguridad de estos barcos es algo que necesita ser mejorado.

La isla de Príncipe particularmente atraviesa algunos problemas con respecto al abastecimiento de productos alimentarios, combustibles y de distribución de sus productos agrícolas.

En términos de apoyo al transporte marítimo, la isla de Santo Tomé posee un puerto comercial con capacidad para el movimiento de aproximadamente 100.000 toneladas de mercancías anuales, un pontón también en la ciudad de Neves y tres astilleros para reparaciones de pequeños barcos. La isla de príncipe posee un pontón.

2.6.3 Transporte Aéreo

En la capital del país (Ciudad de São Tomé) existe un aeropuerto internacional con 2200m de pista localizado a 5 Km de la ciudad que actualmente se encuentra en obras de rehabilitación para la modernización y ampliación de más 300m de la pista.

En términos internacionales hay 4 líneas aéreas que aseguran la unión de Santo Tomé y Príncipe con Europa y África, son: Air S. Tomé, TAP (transportes aéreos de Portugal), TAAG (transportes aéreos de Angola) y Air Gabón (empresa gabonesa). La unión provincial entre las dos islas está asegurada por la línea aérea estatal, con una frecuencia de 6 vuelos semanales.

En la isla de Príncipe existe un aeropuerto regional que también se encuentra en rehabilitación con el fin de modernizar y aumentar la pista de los actuales 1 200 m a los 2000 m. Los servicios de apoyo a la navegación aérea están garantizados por la empresa de aeropuertos y seguridad aérea (ENASA) y el abastecimiento de combustible por la empresa ENCO SRL.

Todas estas obras son posibles debido a la inversión extranjera en las islas, lo que posibilitará una pequeña aceleración en el desarrollo de STP.

2.6.4 Marco eléctrico-energético

El sistema eléctrico y energético de Santo Tomé y Príncipe está compuesto por un conjunto de instituciones que tienen funciones y responsabilidades distintas en la gerencia del sector de la electricidad. Se destaca entre estas instituciones el Ministerio de las Obras Públicas y Recursos Naturales que tiene la competencia de supervisión las actividades técnicas de la dirección general de los recursos naturales y energía que es el organismo central del estado de promoción de la política energética; ENCO (Empresa nacional de combustibles y petróleo) proveedora de combustible al país y la EMAE (Empresa de Agua y Electricidad) empresa estatal de producción, distribución y comercialización de energía eléctrica y agua. La empresa EMAE contaba con 26 198 clientes consumidores de electricidad y 9 052 de agua en el año de 2010 (EMAE, 2010).

En actividad en Santo Tomé y Príncipe hay seis centrales térmicas y dos hidráulicas con una potencia total de aproximada 29 000 kW en el año 2010, siendo que en la isla de príncipe solo hay una pequeña central con una potencia total de aproximadamente 2 880 kW en el año 2010 (WAGNER NETO, 2011). Se ha comprobado un crecimiento de estas potencias así como la demanda eléctrica en el país con el crecimiento de las pequeñas y micro industrias y transporte de energía a las zonas más rurales.

Tabla 2.Potencia instalada en STP

Potencias instaladas en las centrales de Santo tomé y Príncipe en el año de 2010 (KW)			
Centrales	Potencia máxima	Potencia garantida	Déficit
Central térmica de S.Tomé	6 055,4	5164	891,4
Central térmica de Bôbô Fôro1	0	0	0
Central térmica de Bôbô Fôro2	6375	2 200	4 175
Central térmica de St.Amaro	9 036,35	8 130	906,35
Central Hidráulica de Contador	2040	1 900	140
Central hidráulica de Guêgue	320	120	200
Central térmica de Príncipe	3 060	2 880	180
Total interligadas	26 886,75	20 394	6 492,75

Fuente: (WAGNER NETO, 2011)

La red eléctrica de Santo Tomé y Príncipe es antigua, ha sufrido pequeñas rehabilitaciones y obras de alargamiento en los últimos años para suministrar electricidad a los pueblos que están más lejos de los centros urbanos. El estado de la red, las sucesivas averías de las centrales, su mantenimiento y el suministro del combustible son los principales factores de los sucesivos cortes de electricidad a los consumidores.

La isla del Príncipe en particular, enfrenta un problema mayor, es que por todo lo dicho anteriormente, la isla padece aún más del problema de suministro de combustible por diversas razones y fundamentalmente por los problemas de comunicación marítima entre las dos islas.

Hay que tener siempre en cuenta la insularidad de Santo Tomé y Príncipe y el hecho de ser un país en vías de desarrollo para comentar la situación del sector eléctrico-energético, estos factores tornan el país muy dependiente y casi siempre constituye la principal vulnerabilidad de STP.

El país es un potencial productor de petróleo desde el inicio de la década de 2000 en su ZEE (Zona económica exclusiva) y también en una zona denominada de ZZEC (Zona económica

conjunta) con el país vecino Nigeria. Los inúmeros avances y retrocesos en las muchas negociaciones entre las empresas y el Gobierno y también las inconclusiones exploratorias dictaron los atrasos en la producción del petróleo. Según noticias vinculadas en los diarios, los acuerdos entre Santo Tomé y Príncipe Nigeria darán frutos dentro de 18 meses con el inicio de la producción de petróleo y gas.

2.7 Marco Legal de Santo Tomé y Príncipe

Santo Tomé y Príncipe no disponen todavía de leyes que regulan la implementación y control de las energías renovables, pero disponen de un anteproyecto de ley del sector eléctrico versión 3.1 elaborado en Mayo de 2011 por la MC&A-consultores asociados – Santo Tomé por encargo del Ministerio de las Obras Publicas Recursos Naturales, Autoridad General de Regulación del sector eléctrico. El anteproyecto fue basado en diversos documentos y diplomas legales nacionales y extranjeros tales como:

Decreto ley nº 54/99, de 30 de Agosto, editado por el Decreto ley nº 14/2006, de 20 de Febrero (Cabo Verde).

Estudio sobre la Revitalización del Sector Eléctrico y Participación del sector Privado – Informe Final, Banco Mundial (Castalia Avisors) Octubre de 2010. (Santo Tomé y Príncipe)

Decreto ley 14/2008, de 13 de Noviembre – Aprueba los Estatutos de la Empresa de Agua y Electricidad – EMAE

Decreto número nº 40/2008, de 1 de Diciembre - Aprueba los Estatutos de la Empresa de Agua y Electricidad – EMAE, empresa pública.

Decreto ley nº 172/2006, de 27 de agosto – establece las bases de la organización y del funcionamiento del sector de la electricidad (Portugal).

Ley nº 54/97, de 27 de Noviembre – del Sector eléctrico, revista por la ley 17/2007, de 14 de julio (España).

Ley General de la Electricidad – ley 125/2001, de 26 de julio (República dominicana).

Utilities Regulation (Barbados).

2.7.1 Normativa de Referencia

Para la implementación, clasificación y control de Plantas de generación de Energía eléctrica con biomasa, la planta será ajustada al RD 413/2014, de 6 de Junio, España, *“por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos”*.

De acuerdo al presente decreto, la planta se encuadra en la **categoría b)**: instalaciones que utilicen como energía primaria algunas de las energías no fósiles;

Grupo b.6. *Centrales de generación eléctrica o de cogeneración que utilicen como combustible principal biomasa procedente de cultivos energéticos, de actividades agrícolas, ganaderas o de jardinería, de aprovechamientos forestales y otras operaciones silvícolas en las masas forestales y espacios verdes, en los términos que figuran en el anexo I.*

2.7.2 Clasificación de las instalaciones de producción y de la biomasa a utilizar

De acuerdo con el dispuesto en el anexo I (consideraciones sobre instalaciones del grupo b.6), se destaca el punto 2

ANEXO I

2. los sistemas de generación eléctrica a condensación incluidos en el grupo b.6 deberán alcanzar los siguientes niveles de rendimiento para su generación bruta de energía eléctrica:

- *1. Un mínimo del 18 % para potencias hasta 5MW.*
- *2. Un mínimo del 20 % para potencias entre 5MW y 10MW.*
- *3. Un mínimo del 22 % para potencias entre 10MW y 20MW.*
- *4. Un mínimo del 24 % para potencias superiores a 20MW.*

El cálculo del rendimiento se realizará conforme a la siguiente fórmula:

Ecuación 1. Rendimiento según la clasificación de las instalaciones de producción y de la biomasa a utilizar incluidas en el grupo b.6

$$\text{Rendimiento} = \frac{[PEB] \times 0,086}{EPC}$$

Donde:

- *[PEB]: producción eléctrica bruta anual, en MWh*
- *EPC: energía primaria consumida, en toneladas equivalentes de petróleo, contabilizado a PCI (poder calorífico inferior).*

3. BIOMASA

3.1 Introducción general

Se denomina biomasa a toda la sustancia orgánica proveniente de plantas, árbol e desechos de animales que se pueden convertir en energía. Ha sido la fuente de energía más utilizada por nuestros ancestros hasta el comienzo de la revolución industrial. A partir del uso extendido de combustibles fósiles el aprovechamiento energético de la biomasa fue reduciéndose progresivamente.

El desarrollo y avance de procesos y tecnologías más eficientes ha permitido por ejemplo la conversión de biomasa en energía limpia más conveniente y eficiente, transformándola en combustible sólido, líquido, gaseoso. Evidentemente, son estas formas modernas de aprovechamiento las que pueden ser utilizadas para la obtención de energía limpia, la biomasa es el cuarto recurso energético más utilizado, forneciendo a partir de su combustión unos 14% de las necesidades energéticas mundiales en términos domésticos e industriales (DEMIRBAS, Ca. 2004). En países en vías de desarrollo la cifra de utilización de biomasa como fuente de energía llega a valores entre 40 y 50% del total de energía producida. (DEMIRBAS, Ca. 2004)

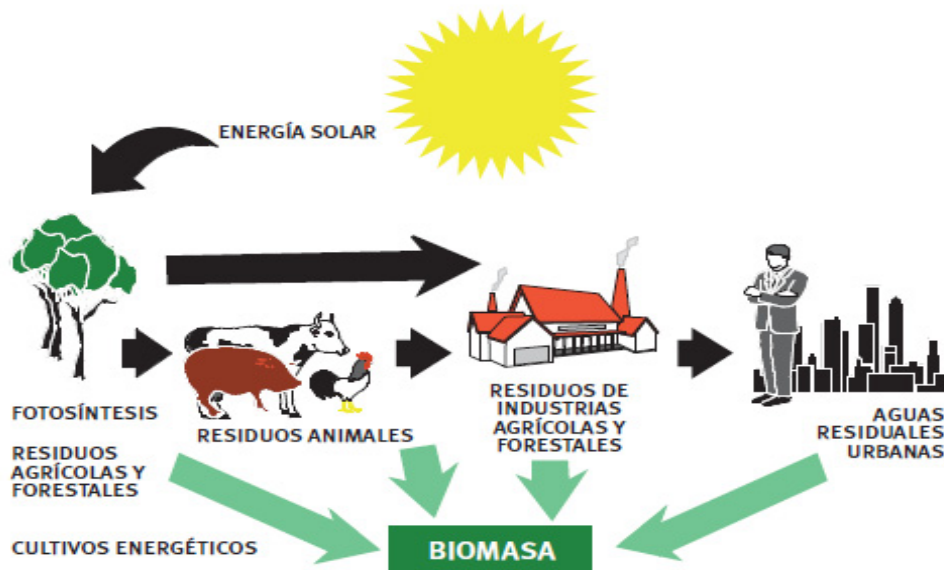


Figura 4. Generación de biomasa (IDAE, Enero 2007)

En los últimos años, el aumento del coste de los combustibles fósiles y los avances técnicos que han favorecido el desarrollo de la biomasa, han causado que esta fuente de energía renovable comience a considerarse en la industria como una alternativa total o parcial de los combustibles fósiles.

3.2 Características de la biomasa

Para que se pueda lograr una factibilidad técnica y económica de un proceso de conversión de la biomasa en energía y conseguir que se escoja la mejor tecnología de conversión hay que conocer algunas de sus características más importantes. Las características de un determinado tipo de biomasa determinan su tipo de utilización preferencial, mismo teniendo en cuenta que el cultivo energético esté predominantemente orientada a la producción u obtención de biocombustibles como el bioetanol (rico en azúcares y almidón), biodiesel (ricas en óleo vegetal) o biomasa rica en material leñoso capaces de ser convertidas en combustible sólidos (pellets, briquetas, astillas etc.), que constituyen una fuente de energía extremadamente válida para los procesos de combustión.

3.2.1 Tipos de Biomasa

La biomasa como fuente para la producción de energía renovable puede clasificarse en:

- **Biomasa natural:** Se produce de forma espontánea en la naturaleza, sin intervención humana. Por ejemplo, las podas naturales de los bosques.
- **Biomasa residual seca:** Proviene de recursos generados en las actividades agrícolas, forestales. También se produce este tipo de biomasa en procesos de la industria agroalimentaria y de la industria de transformación de la madera. Dentro de este tipo de biomasa, se puede diferenciar la de origen forestal y la de origen agrícola.
 - Origen forestal** – restos procedentes de los tratamientos forestales (ramas riberones etc.) o árboles completos procedente de montes debido a ningún aprovechamiento maderero dado u otros usos madereros. Carecen normalmente de tratamiento previo en el campo para abaratar su transporte.
 - Origen agrícola** – restos de poda de las especies agrícolas características de las zonas en estudio. Proviene principalmente de olivares, viñedos, paja de cereal y cañote de maíz. Son caracterizados por oscilaciones y fluctuación debido a las distintas temporadas de producción.
- **Biomasa residual húmeda:** Proviene de vertidos biodegradables formados por aguas residuales urbanas e industriales y también de los residuos ganaderos.
- **Cultivos energéticos:** Aquellos cultivos realizados tanto en terrenos agrícolas como forestales y que están dedicados a la producción de biomasa con fines no alimentarios.

3.2.2 Composición química y física

Son las propiedades físicas y químicas, principalmente contenido en humedad, poder calorífico, material volátil, contenido en cenizas, las que determinan el tipo de tratamiento previo necesario aplicar la biomasa y la composición y rendimiento de las fracciones obtenidas durante el tiempo de conversión térmica. Por ejemplo los desechos de animales producen altas cantidades de metano, mientras que la madera puede producir el denominado “gas pobre”, por otro lado las características físicas influyen en el tratamiento previo a aplicar a la biomasa.

3.2.3 Contenido de humedad

Un factor muy importante en el procesado de la biomasa que relaciona la cantidad de agua contenida por kilogramos de materia combustible, lo que condiciona mucho el comportamiento del combustible en muchos aspectos. Además durante el proceso de combustión el agua absorbe la energía para transformarse en vapor a la temperatura del proceso, este calor no es aprovechable ya que el vapor de agua se emite a la atmosfera reduciendo la eficiencia energética del proceso. Este hecho puede provocar también la emisión a la atmosfera de alquitranes que pueden condensarse en la salida de humos, puede provocar la corrosión de la chimenea por acumulación gradual de material (ISERN HIDALGO, Ca. 2011).

Un 30% es el grado de humedad máximo en casi todos los procesos de conversión energética de biomasa con la preocupación de que cuanto menor es grado de humedad mejor será el rendimiento del proceso. Es frecuente que en el proceso de producción, la biomasa traiga un contenido de humedad que no es óptimo para el proceso de conversión propuesto, para conseguir una optimización de la humedad se acondiciona la biomasa antes de proceder a su proceso de conversión, aplicando procesos de reducción de humedad.

3.2.4 Porcentaje de cenizas

La fracción inerte del combustible que se reduce proporcionalmente a su contenido de cenizas. La cantidad sobrante de cenizas es un indicativo de la cantidad de materia solida no combustible por kilogramo de materia. En las plantas de aprovechamiento de biomasa para producción de energía, el contenido de ceniza influye sobre los costes de transporte, manipulación y de proceso. Es importante conocer el porcentaje de generación de cenizas así como su composición, en muchos casos este residuo es reutilizado por su alto contenido en minerales, puede ser usado como fertilizantes, filtros, o aditivos en hormigón.

3.2.5 Densidad aparente

Una vez que lo que interesa es mayor cantidad de energía por unidad de volumen, este factor se posiciona también como uno de los más importantes. La densidad aparente se define como peso por unidad de volumen de materia, de esta forma, los combustibles con mayores densidades aparente favorecen la relación de energía por unidad de volumen. En términos logísticos, materiales con menores densidades aparente requieren mayor volumen de almacenamiento y transporte, dentro de los gasificadores y tienen problemas con el flujo por gravedad, lo que afecta el proceso de gasificación.

3.2.6 Poder calorífico

Factor imprescindible en el proceso de conversión de biomasa, pues es el factor que determina la energía disponible por unidad de masa. Este factor está directamente ligado con el contenido de humedad porque un contenido de humedad elevado proporciona que el calor libertado sea mayoritariamente usado para evaporar el agua contenida en la materia, no se aprovechando para la reducción química, lo que significa una disminución de eficiencia.

En el poder calorífico inferior (PCI) el agua libertada se trata como vapor, lo mismo es decir que se ha restado la energía que es necesaria para vaporizar el agua. Mientras que en el poder calorífico superior (PCS) el agua en los productos de combustión se trata como un líquido. Cuando no se hace mención al inferior o superior en los poderes caloríficos, o sea, no se especifica el poder calorífico, quiere decir que se está refiriendo al poder calorífico inferior (PCI).

El poder calorífico en seco se refiere al poder calorífico de combustible con cero por cien de humedad, como referido anteriormente, el poder calorífico es un factor que vari mucho con el contenido en humedad. En la tabla 3 se presentas poderes caloríficos de algunas especies más comúnmente usadas como biomasa.

Tabla 3. Poderes caloríficos de distintas biomasa

Productos	Características	Humedad (%)	PCI (MJ/kg)	Humedad (%)	PCI (MJ/kg)
Leñas y ramas	Coníferas	20	15,03	40	10,68
	Fronosas		13,86		9,8
Serrines y virutas	Coníferas	15	15,87	35	11,56
	Fronosas autóctonas		14,99		10,89
	Fronosas tropicales		15,83		11,56
Cortezas	Coníferas	20	15,28	40	11,1
	Fronosas		14,11		9,96
Vid	Sarmientos	20	16,73	40	9,67

	Ramilla de uva	25	12,35	50	7,41
	Orujo de uva	25	13,57	50	8,21
Aceite	Hueso	15	16,16	35	11,76
	Orejillo		15,83		11,56
Cáscara frutos secos	Almendra	10	16,5	15	15,45
	Avellana		15,53		15,53
	Piñón		17,12		16,04
Cacahuete		10	14,57	15	11,14
Paja de cereales		10	15,41	20	13,23
Cascarilla de arroz		10	14,11		
Girasol	Residuo del campo	10	13,86	15	12,94
Papel	Cartón, papel vario	5	15,83	10	15,2
	RSU frac. Plást.-pap.		18,76		17,63

Adaptado de: (IDAE, 2008)

3.3 Etapas de la biomasa

Las condiciones de poda y recolección, la ubicación de la biomasa con respecto a la planta, o sea, la distancia hasta el punto de utilización debe ser estudiada con mayor el detalle posible para que se consiga lograr un sistema rentable. Es importante que todos estos factores sean los más eficientes posible, garantizando la fiabilidad y rentabilidad de todo proceso.

3.3.1 Proceso de poda, recolección y transporte

Proceso fundamental para que el aporte de biomasa sea adecuado. Es el proceso que se caracteriza por los cortes de ramas y excepcionalmente troncos de los árboles que se lleva a cabo dependiente del árbol, anualmente, en años alternados o más de una vez al año. Se cortará de forma que tenga condiciones adecuadas a la entrada para la astilladora una vez definida la máquina de trituradora se definirán también las condiciones de corte.

El proceso de poda de los bosques es de autoría de entidades competentes, garantizando así que no haya ningún cambio en el proceso normal de crecimiento o de producción de los arboles intervenidos. La entrega de responsabilidad a estas entidades, garantiza también una mejor organización de la logística de poda, optimización de las épocas de poda y mejor distribución de la biomasa resultante.

En el caso de la biomasa agrícola, cabrá a las empresas dueñas de las "Roças" presentar su rutina de poda y recolección de su producción, para que se pueda adoptar la logística de recolección a las de ellos.

El transporte de la biomasa hasta los puntos de recogida se harán con auxilio de vehículos de gran fuerza debido a las características de los accesos a estas zonas. El transporte de la biomasa de los puntos de recogida hasta la planta será hecho con vehículos normales adaptados en estos casos. Se harán oportunamente un plan de recogida de forma que se pueda controlar mejor este proceso.

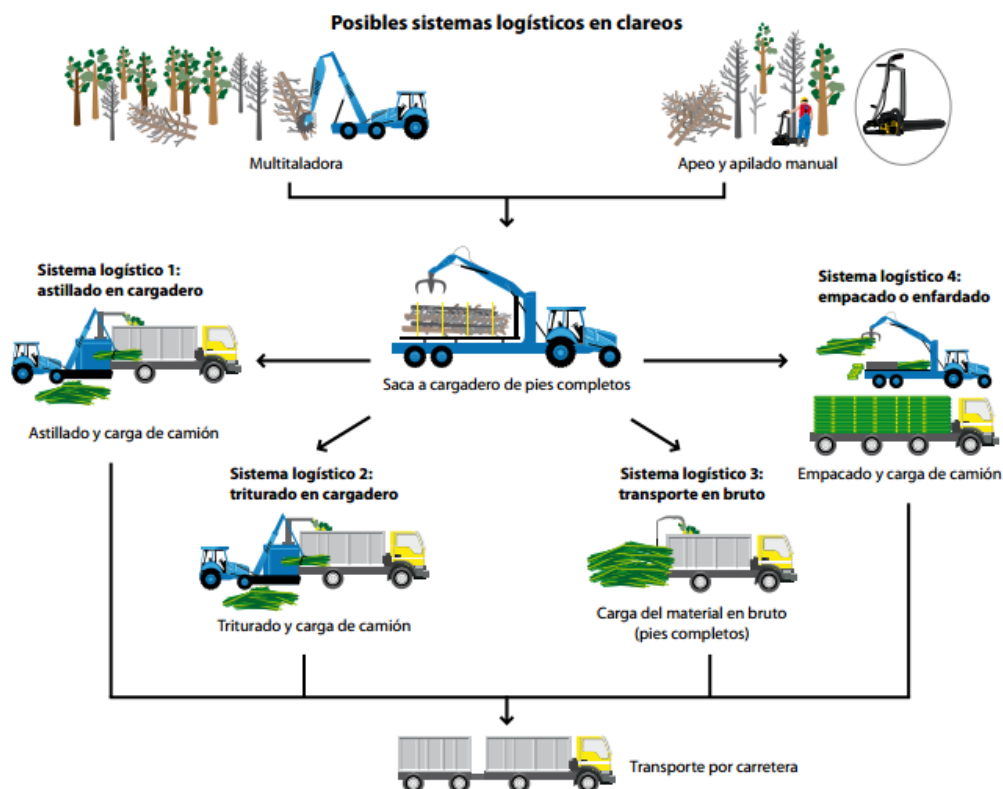


Figura 5. Logística de la biomasa

3.3.2 almacenamiento de la biomasa

El almacenamiento de la biomasa es una de las etapas de gran importancia porque requiere una serie de condiciones que son de extrema importancia para el funcionamiento exitoso de la planta. Normalmente hay tres opciones de almacenamiento más comunes en esta industria, cada una de ellas con sus propias ventajas y retos.

- la materia prima se transporta directamente a la planta sin almacenamiento en el lugar de producción.
- La materia prima se almacena en el lugar de producción y luego se transporta a la planta, según sea necesario.
- La materia prima se almacena en una instalación de almacenamiento colectiva y luego se transporta a la planta desde el lugar de almacenamiento intermedio.

Para el proyecto en estudio, se adaptará oportunamente una forma de almacenamiento de acuerdo a las condiciones preponderantes.

3.3.3 Pre-tratamiento

Para que se consiga una biomasa con las características que se pretende para el uso en la planta hay que tener etapas de tratamiento bastante bien definida. Esta etapa es compuesta por una serie de trabajos complementarios que consiste en adecuar la materia prima (biomasa) a los parámetros preestablecidos para el proceso de conversión. Alguno de los pasos más comunes en este proceso incluye la separación, remoción de metales u otros materiales no combustibles, la reducción de tamaños (molienda, astillado) y el secado.

Secado

El secado de la biomasa mejora significativamente el rendimiento de la combustión y mejora la operación de la caldera. Una combustión más completa da como resultado cantidades más bajas de compuestos orgánicos y cenizas producidas.

Hay dos formas de efectuar el secado de la biomasa: de forma natural, que implica un secado al aire libre; secado artificial, implica la utilización de equipos con este fin. El secado natural es efectivamente lento, y en ciertos casos podría tardar años para conseguir la humedad deseada. Por este motivo el tipo de secado adoptado será el artificial que obviamente implicará un coste adicional pero es imprescindible para que la planta funcione adecuadamente.

Hay tres tipos de secado artificial (VIGNOTE PEÑA & MARTÍNEZ ROJAS, 2006), los cuales paso a citar:

- **Secado por calor**

La madera es introducida en una cámara con ventilador que produce una corriente de aire transversal a la madera. La cámara contiene también un sistema de calor que eleva la temperatura y un sistema que regula la humedad.

- **Secado de deshumidificación o bomba de calor**

Este sistema se basa en crear unas condiciones atmosféricas secas alrededor de la madera, con temperaturas inferiores a los 50 0 C. este sistema dispone también de un ventilador acoplado también de una o varias bombas de calor que eliminan la humedad del aire. Es un tipo de secador más lento, sencillo pero son equipos eléctricos.

- **Secador por vacío**

Es un sistema que se basa en la disminución de la presión atmosférica, aumenta la velocidad del agua en la pared celular y con esto disminuye el gradiente de humedad. El secadero consiste en una cámara de vacío junto con un ventilador y un sistema de calefacción y regulación de humedad. Sin embargo este sistema solo puede ser usado en las últimas fases de secado ya que el agua libre se elimina con la misma lentitud que cualquier otro sistema.

3.3.4 Alimentación de la caldera

El sistema de alimentación de la caldera es constituido por un patio (lugar de almacenamiento) donde estará almacenado la biomasa y un sistema de traslado de la biomasa a la caldera. Son patios con una dimensión considerable debido al hecho de que la densidad energética (kJ/kg) de la biomasa es relativamente más bajo que de otros combustibles.

El sistema de traslado de la biomasa son hechos a partir de una zona destinada a la alimentación de la biomasa a la caldera. En dicha zona son instalados un pulmón que alimentan un sinfín inclinado o cintas transportadoras de acuerdo a las condiciones favorables.

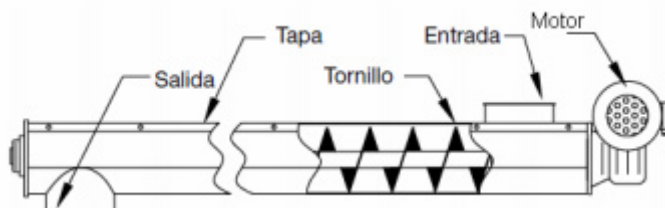


Figura 6. Detalle de una transportadora

3.4 Formas habituales de la biomasa

Las formas industriales habituales de encontrar la biomasa son: *Pellets, briquetas, astillas, troncos o leños, paja.*

3.4.1 Pellets

La pelletización es el proceso comercialmente más conocido de la biomasa proveniente principalmente de la madera, su principal ventaja es la elevada densidad. La longitud debe estar comprendida entre los 5 y 45 mm dependiendo del fabricante y su compactación se realiza por encima de los 1000 bares, de forma que los pellets se mantengan estables incluso durante el envase y transporte. En algunos casos se añade al procesamiento de los pellets otros productos naturales, como es el caso del maíz para facilitar, por ejemplo, el prensado.

El porcentaje de estos productos no puede superar el 2% con la finalidad de minimizar las cenizas.



Figura 7. Pellets

Los pellets tienen características fundamentales que los define en el mercado y que son necesarias para su uso como biomasa para generación de syngas, que son: densidad mínima de 650 Kg/m^3 , humedad máxima de 8%, poder calorífico entre 4,9 y 5, 4 kWh/Kg.

3.4.2 Briquetas

Es una biomasa bastante semejante a los pellets, por entre otras características semejantes, por ejemplo la compactación. Generalmente se las hacen con material residual, como madera, cascarilla de arroz, bagazo de caña de azúcar, pulpa de papel, cascara de coco, etc. Son más densos que los leños debido al proceso de compactación y su poder calorífico es de aproximadamente 18,5 Mj/kg. Durante el proceso de fabricación, la madera se seca hasta una humedad por debajo de 10%.



Figura 8. Briquetas

Por su elevada densidad energética, bajo contenido en cenizas y facilidad de alimentación manual, son ideales para las estufas de madera, además no contienen resinas, lo que evita la producción de chispas durante la combustión.

3.4.3 Astillas

Se caracteriza por picar previamente la madera, su tamaño suele estar entre 1-10 cm de longitud y unos 4 cm de anchura, están divididos en 3 categorías: menor de 3 cm (fina), menor de 5 cm (media), menor de 10 cm (gruesa).



Figura 9. Astillas

Se suelen obtener una cantidad de cenizas menor del 0,5% cuando la cantidad de la impureza de las astillas de alta calidad para empleo en sistemas de combustión automatizados es baja. Se suelen emplear en sistemas de pequeña potencia (50 Mw) hasta sistemas mayores con potencias de varias decenas de Mw.

3.4.4 Troncos y Leños

La madera que se corta en forma de leños de no más de 1m de largo (25, 33, 50 cm). Después que se cortan la madera con el tamaño que se desea, se estría la misma con el fin de la superficie para que se pueda optimizar la combustión y facilitar el secado natural o con auxilio. Cuando el proceso de secado es de forma natural, al aire libre, tarda aproximadamente 2 años y se si logra este hecho, las cenizas residuales no ultrapasarán los 0,5%.

El uso de este tipo de biomasa es normalmente limitado a gasificadores de alimentación manual.



Figura 10. Troncos y Leños

3.4.5 Paja

La paja se compactan para lograr mayor densidad (hasta 120 Kg/m^3), la compactación puede ser con formatos de bloques rectangulares de 80-250 cm de largo por 30-130 cm de alto o balas redondas de 60-180 cm de diámetro y 120-150 cm de largo.



Figura 11. Paja

3.5 Rendimiento de la Biomasa

En la gasificación, la transformación de la biomasa en energía eléctrica logra un rendimiento eléctrico del 30 al 32%, bastante superior a la combustión directa de la biomasa para generación de vapor en ciclo de Rankine, donde solo se llegan a un rendimiento eléctrico de 22%.

En media el PCI (poder calorífico inferior) de la biomasa permite obtener aproximadamente 15 000 kJ/kg, mientras que el PCI de la gasolina 4 4000 kJ/kg, es decir (SEBASTIÁN NOGUÉS & ROYO HERRER, 2002):

- 1 kilogramo de biomasa proporciona aproximadamente 15 000 kJ
- 1 litro de gasolina proporciona aproximadamente 4 4000 kJ

Es decir que se necesitan 3 kg de biomasa para obtener la misma cantidad de energía lo cual nos proporciona un litro de gasolina, o lo que es lo mismo, cuando desperdiciamos 3 kg de biomasa se desaprovecha el equivalente a un litro de gasolina (ENERGRUP, 2014).

3.6 Ventajas e inconvenientes de la utilización de biomasa

La elección de la biomasa como fuente combustible para la generación de electricidad puede ser justificada por las ventajas de los beneficios que proporciona y por ser ya considerada como una de las formas de producción energética con fuentes renovable más sostenibles. A continuación se discrimina, las ventajas e inconvenientes más importantes como forma de valorar las potencialidades:

a) Ventajas

- Diversificación energética.
- Promoción de las actividades agrícolas y de las comunidades rurales. Aumento económico del medio rural.
- La biomasa es un recurso local que no está sujeto a las fluctuaciones de precios de la energía, provocadas por las variaciones en el mercado internacional de las importaciones de combustibles. En países en desarrollo, su uso reduciría la presión económica que impone la importación de los derivados del petróleo.
- Prevención de incendios mediante el aprovechamiento de residuos agrícolas.
- Poca proporción de producción de óxido de azufre, previniendo la formación de lluvias ácidas.
- Forma parte de un proceso de reducción de gases con efecto invernadero.
- Los productos obtenidos son biodegradables.
- Prevención de la erosión del suelo mediante la implementación de cultivos energéticos.
- Es una fuente ampliamente disponible, bosques, cultivos, etc. Permite reducir la dependencia de los combustibles fósiles como el petróleo. Favorece el desarrollo de una industria energética autóctona y del medio rural.
- Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustible.

b) Inconvenientes

- Peor rendimiento cuando se compara con los procesos que involucran combustibles fósiles.
- Necesidad de mecanismos de transformación y capacitación para su uso.
- Baja densidad energética, proporcionando elevados costes de manipulación.

4. TECNOLOGIAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE BIOMASA PARA LA PRODUCCION DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Hay muchas técnicas para el aprovechamiento energético de la biomasa, pero las más relevantes se pueden clasificar en tres procesos: la combustión directa, procesos termo-químico y bioquímicos. La combustión directa y los procesos termoquímicos son los que se usa directamente para transformación de biomasa en energía eléctrica, el proceso bioquímico es usado principalmente en la industria del combustible líquido y procesos de fermentación alcohólica.

Estos tres grandes procesos van desde la más simple y tradicional a aquellos de extrema complejidad y altas eficiencias. Se subdividen en diversas técnicas dependiendo del principio de conversión y son procesos que pueden ser beneficiosos para el medio ambiente.

El proceso de combustión directa es la forma más antigua y común de transformar la biomasa en energía, es un sistema que se aplica para la generación de calor por ejemplo para cocinar alimentos o secarlos. Ejemplos prácticos van desde las estufas hornos o calderas, es un proceso en que normalmente se pierde mucha de la energía generada y causan contaminación cuando no son realizadas bajo condiciones controladas.

Los procesos termoquímicos consisten en la aplicación de calor a la biomasa como forma de transformación, están muy desarrollada para la biomasa seca, principalmente la paja, normalmente el proceso es controlado de forma a que se consiga extraer el mayor beneficio posible del proceso. Entre los procesos termoquímicos de transformación de biomasa están la combustión, pirólisis, gasificación.

El proceso bioquímico se basa como indica el nombre, tirar partido del proceso microbiológico propio de la biomasa para la producción de biocombustibles gaseosos y líquidos. Este proceso se aplica principalmente a la conversión de biomasa húmeda. Los más importantes procesos bioquímicos son digestión anaeróbica, biodiesel, biogás de relleno sanitario y combustibles alcohólicos.

Para lo que se pretende con la realización de este proyecto, se concentrará el estudio en las dos grandes formas de aprovechamiento energético de la biomasa para la generación de energía eléctrica: la gasificación y uso del biogás de gasificación en Motores de Combustión Interna Alternativos y la combustión dentro de un Ciclo Orgánico de Rankine (OCR). A partir de estos procesos se desarrollaran técnicas de optimización para mejorar el aprovechamiento de biomasa en la producción de electricidad.

5.1 Gasificación Termoquímica

La gasificación es una tecnología del siglo pasado que tuvo un pequeño desarrollo antes de la II Guerra Mundial, perdió su importancia después de la guerra causado por las disponibilidades y ventajas de los combustibles líquidos derivados del petróleo. Desde entonces, hasta los días de hoy ha sufrido muchos altibajos, retomando actualmente su protagonismo debido a los precios altos y la contaminación medioambiental causada por los combustibles fósiles.

La gasificación de biomasa es un proceso termoquímico por el que la biomasa, o materia orgánica, se transforma en gas combustible (gas combustible de bajo poder calorífico). Cuando la biomasa, normalmente en estado sólido es sometida a la acción del calor en condiciones de falta de oxígeno (combustión incompleta), se producen una serie de reacciones que dan lugar a un gas de gran interés energético. Se trata de un proceso de oxidación parcial, es decir, la cantidad empleada de oxidante (el aire, oxígeno o el vapor de agua) es inferior a la de un proceso de combustión completa. Se obtiene un gas combustible que se utiliza para la generación de energía mecánica, eléctrica o calorífica. El gas resultante a partir de la gasificación de los residuos orgánicos está compuesto por monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrógeno (H₂), metano (CH₄), agua y residuos (alquitrán, cenizas, partículas sólidas) en diferentes proporciones.

El gas producido es más versátil que la biomasa original, pudiéndose utilizar con los mismos propósitos que, por ejemplo, el gas natural. Se considera un combustible relativamente libre de impurezas y, por consiguiente, emite menos contaminantes a la atmósfera en su utilización.

La elección del método para llevar a cabo el proceso de gasificación de biomasa depende de varios factores como el tamaño, forma y características del residuo, el aprovechamiento pretendido de la energía del gas producido, el agente gasificante y de las restricciones económicas.

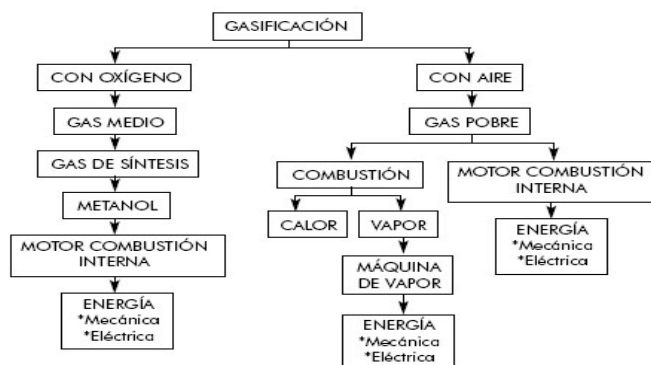


Figura 12. Gasificación de biomasa en función del agente gasificante

5.1.1 Etapas y reacciones de la Gasificación

Tres o cuatro son los procesos que tienen lugar en el gasificador dependiendo del autor: *secado*, *pirólisis*, *gasificación (oxidación y reducción)*. Aunque hay una superposición considerable, cada proceso puede ser considerado como ocupando una zona separada en la que tienen lugar las reacciones químicas y térmicas. El combustible debe pasar a través de todas estas zonas para ser completamente convertido.

Secado

Una primera etapa de calentamiento hasta 100 °C, que provoca el secado de la biomasa por evaporación del agua contenida en la misma, y que absorbe el calor sensible para elevar la temperatura, además del necesario para la evaporación del agua;

Pirólisis

La segunda etapa del proceso, también absorbe calor (ruptura por calor). Es la primera etapa de degradación de la biomasa, en la que se rompen las moléculas grandes dando lugar a otras de cadena más corta generando residuos carbonosos sólidos denominados char, líquidos en su mayoría alquitranes y vapores condensables de alto peso molecular y gases formados por hidrocarburos volátiles de bajo peso molecular. En esta etapa la evolución depende mucho del tamaño de partículas del lecho en (para lecho fluido) y las condiciones de operación (Presión, temperatura y tiempo de residencia).

Gasificación

En la gasificación están incluidos dos reacciones, la de oxidación y la de reducción. Durante la oxidación el oxígeno reacciona con el carbono en la zona del gasificador donde el agente oxidante es introducido produciendo CO₂. El CO₂ caliente entra en la zona de reducción

donde a través de muchas reacciones, mayoritariamente endotérmicas, solido-gas o gas-gas en ausencia de oxígeno, se reduce, produciendo CO y H₂.

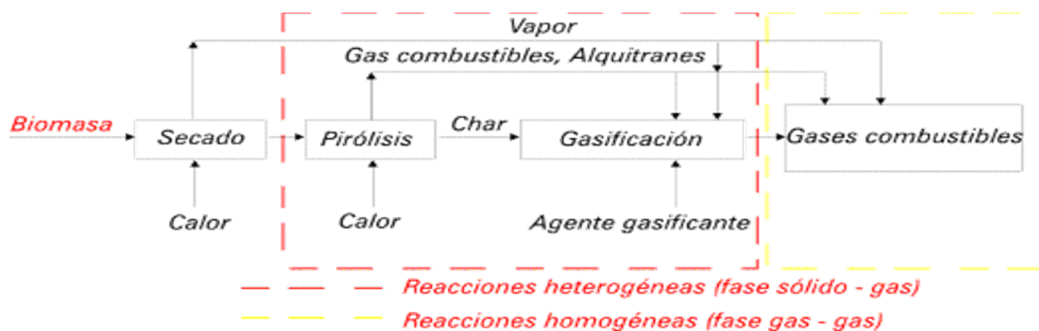


Figura 13. Etapas de gasificación de biomasa

Sigue en la (tabla 4) las reacciones químicas simplificadas que tienen lugar durante cada una de las etapas de la gasificación termoquímica.

Tabla 4. Reacciones químicas en la gasificación

Fase	Nombre de reacción	Reacción
Pirólisis		<i>Combustible sólido + calor → Char + líquidos + gases</i>
Oxidación	Combustión parcial	$C + \frac{1}{2} O_2 \leftrightarrow CO$
	Combustión total	$C + O_2 \leftrightarrow CO_2$
Reducción	Gasificación con Dióxido de Carbono	$C + CO_2 \leftrightarrow 2CO$
	Gasificación con Vapor de Agua	$C + H_2 O \leftrightarrow CO + H_2$
	Gasificación con Hidrogeno	$C + 2H_2 \leftrightarrow CH_4$
	Reacción de Desplazamiento Agua - Gas	$CO + H_2 O \leftrightarrow H_2 + CO_2$
	Reacción de Metanización	$CO + 3H_2 \leftrightarrow CH_4 + H_2 O$

Fuente: (FONSECA NATALIA, Julio 2003)

5.1.2 Agentes Gasificantes

Según el agente gasificante que se emplea (aire, vapor de agua, oxígeno o hidrógeno), se producen efectos distintos durante el proceso de gasificación. El syngas (producto final) varía en su composición y poder calorífico.

Si se gasifica con el aire, parte de la biomasa procesada se quema con el oxígeno presente y el resto de la biomasa sufre una reducción. Por este conjunto de ideas, el 50% del syngas será nitrógeno. Este gas tendrá un bajo poder calorífico de aproximadamente 5,5 MJ/Nm³. El syngas resultante de un proceso con estas características será apropiado para la utilización en motores de combustión interna convencionales.

Si se gasifica con vapor de agua u oxígeno, se mejora el rendimiento global de la operación, produciendo un gas con poder calorífico medio que varía entre 12 – 18 Mj/Nm³ y se aumentará también la proporción de hidrógeno en el syngas. Es un proceso más adecuado para la producción de metanol o gasolinas sintéticas. Hay que tener en cuenta siempre el coste energético y económico de la utilización de oxígeno como agentes gasificantes una vez que el aire y el vapor de agua se los consiguen sin costes significativos.

En caso de la utilización de hidrógeno como agente gasificante, permitirá la obtención de un syngas que puede sustituir al gas natural, pues puede alcanzar un poder calorífico alto, por encima de los 30MJ/ Nm³.

5.1.3 Tipos de Gasificadores

Los gasificadores están fundamentalmente dividido en dos grandes grupos: los de lecho fijo y los de lecho fluidizado.

a) Gasificadores de lecho fijo

Estos tipos de gasificadores se caracterizan por el movimiento de la biomasa debido a la gravedad. La zona de reacción es estacionaria (fija) y soportada por rejillas, en que la alimentación se hace por la parte superior. Es una tecnología sencilla en términos de fabricación y operación. Son las tecnologías de gasificación más antigua y normalmente adecuada a aplicaciones de pequeña y media escala, con rendimientos de pocos MW. Los gasificadores de lecho fijo varían de acuerdo a la alimentación de la biomasa y entrada de aire en los mismos.

UPDRAFT – Gasificación de corriente ascendente o tiro directo.

El proceso de gasificación en este tipo de configuración se desarrolla por la introducción de la biomasa en la parte superior del gasificador, descendiendo a través del mismo a medida que es sometida a las distintas etapas de gasificación (secado, pirolisis, oxidación y reducción). En la parte inferior del gasificador entra el aire, ascendiendo por el mismo, procediendo de acuerdo a las finalidades para dar lugar a la salida del gas producto por la parte superior. La salida del gas del gasificador acontece debido al sistema de impulsión que genera depresión aguas abajo del sistema de acondicionamiento del gas que es necesario para evitar obstrucciones de las líneas que conducen el dicho gas.

La combustión en este tipo de diseño ocurre en la zona inferior justo después de la entrada del aire en el Hogar. Como demostrado en la (figura.15) el syngas sale por la parte superior del gasificador, este cruzamiento de flujo en la parte superior del gasificador proporciona un intercambio de calor entre la biomasa y el gas de síntesis que hace con que el gas saliente

tendrá una temperatura inferior y la biomasa se calentará antes de llegar a la zona de combustión. El resultado de esta configuración es, la salida del gas de síntesis por la parte superior y las cenizas producidas en la combustión por la parte inferior del gasificador.

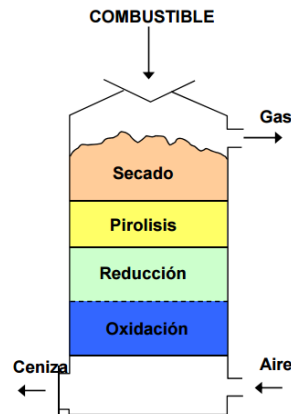


Figura 14. Gasificador de lecho fijo Updraft

Esta configuración tiene algunas ventajas, como es la de no requerir un precalentamiento excesivo de la biomasa a emplear, siendo válida para una vasto rango de tamaños y elevadas porcentajes de humedades (hasta 50% en base húmeda). Otra de las ventajas es la simplicidad de la configuración asociado al hecho de proporcionar una temperatura de salida del gas síntesis baja debido al intercambio de calor comentado anteriormente, que eleva la eficiencia del equipo.

Una de las principales desventajas son las concentraciones de alquitrán en el gas de salida, ya que los vapores formados en las reacciones de pirolisis son arrastrados hasta arriba en el reactor con el gas resultante. Este inconveniente es minimizado si se emplea el gas de salida para las aplicaciones directas de calor, los alquitranes simplemente se queman. Otro inconveniente, y el más peligroso, es que puede ocurrir en este tipo de configuración el escape de oxígeno y generar la posibilidad de explosiones peligrosas.

DOWNDRAFT- Gasificador de corriente descendente o tiro invertido

En esta configuración la biomasa y el gas se mueven en la misma dirección, saliendo el gas de síntesis por la parte inferior del reactor. La biomasa es introducida en la parte superior y el aire por la parte intermedia. La combustión ocurre en cerca de la parte inferior en el hogar antes de la salida del gas.

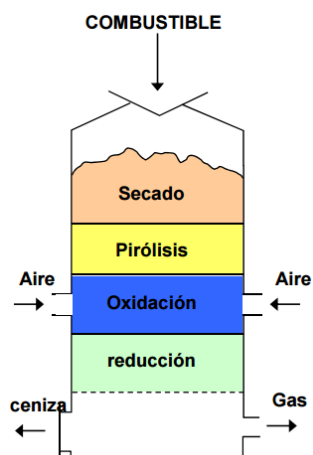


Figura 15. Gasificador de lecho fijo Doudraft

La mayoría del alquitrán en el gas síntesis es destruido por craqueo térmico mientras que pasa a través de la zona de reacción. En su camino hasta abajo los hidrocarburos y los alquitranes producidos en el proceso atraviesan un lecho incandescente de carbón vegetal transformándose en gases permanentes de hidrogeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, y metano.

La principal ventaja es la posibilidad de producción de gases con bajo contenido de alquitranes.

Los principales inconvenientes son que a comparación con los gasificadores de corrientes ascendente son menos eficientes debido a la inexistencia de intercambio interno de calor entre la biomasa y la salida del gas de síntesis. Necesitan de combustibles con bastante preparación previa como es el caso de reducción de humedad (<25%), forman más escoria. El gas producido es más pobre, apropiados para sistemas e potencias inferiores a 1MW.

CROSSDRAFT – Gasificadores de tiro transversal

En este gasificador la biomasa continua siendo introducida por la parte superior, el aire entra por la parte intermedia lateral directamente a la zona de combustión, la salida del gas se efectúa también por la parte intermedia lateralmente opuesta a la entrada del aire. Las distintas etapas de gasificación (secado, pirólisis, oxidación y reducción) ocurren concentradas en la zona de inyección del aire, características que permite una operación con gasificadores relativamente pequeños.

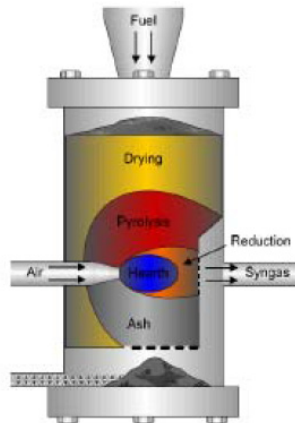


Figura 16. Gasificador de lecho fijo Crossdraft

Estos gasificadores presentan la ventaja de poder funcionar con poco combustible, debido a la sencillez del sistema de depuración del gas. El principal inconveniente es el contenido en alquitrán del gas de salida.

b) Gasificadores de lecho fluidizado

Los gasificadores de lecho fluidizado son así denominados porque la gasificación ocurre en un lecho de material inerte fluidizado como es la arena. En este tipo de gasificador se consigue una uniformidad en la distribución de la temperatura en el lecho que es calentado externamente y posteriormente se insufla el gas fluidizante (aire, oxígeno, vapor y combinación) a una velocidad elevada para mantener las partículas del lecho en suspensión. Posteriormente a este proceso se le introduce el combustible cuando la temperatura ya es suficientemente elevada para que la temperatura del combustible tenga la temperatura del lecho de forma instantánea y ocurra rápidamente la pirolisis. Por ser la transferencia de calor tan rápida, se consigue rendimientos más elevados. Como resultado de una gran turbulencia en el reactor, el gas resultante contiene una gran cantidad de partículas.

Normalmente se dimensiona este tipo de gasificadores para instalaciones medianas y de gran escala y para situaciones donde la demanda del gas resultante es alta y constante.

La ventaja más importante que presentan en relación a los de lecho fijo es: por tener un buen control de la temperatura, tienen una mayor flexibilidad a los combustibles a utilizar en la alimentación del mismo, pero en contrapartida tienen una mala respuesta ante los cambios de carga, haciendo que se utilicen equipos de control de carga, aumentando por eso el precio del gasificador. Esta tecnología es más moderna que la tecnología de lecho fijo y se dividen en dos subtipos: lecho fluidizado burbujante y lecho fluidizado circulante. La diferencia entre ellos es que en el circulante existe una tubería de retorno al gasificador. Como consecuencia

de esta recirculación, se obtienen un gas de síntesis con tres veces más poder calorífico que los gasificadores convencionales.

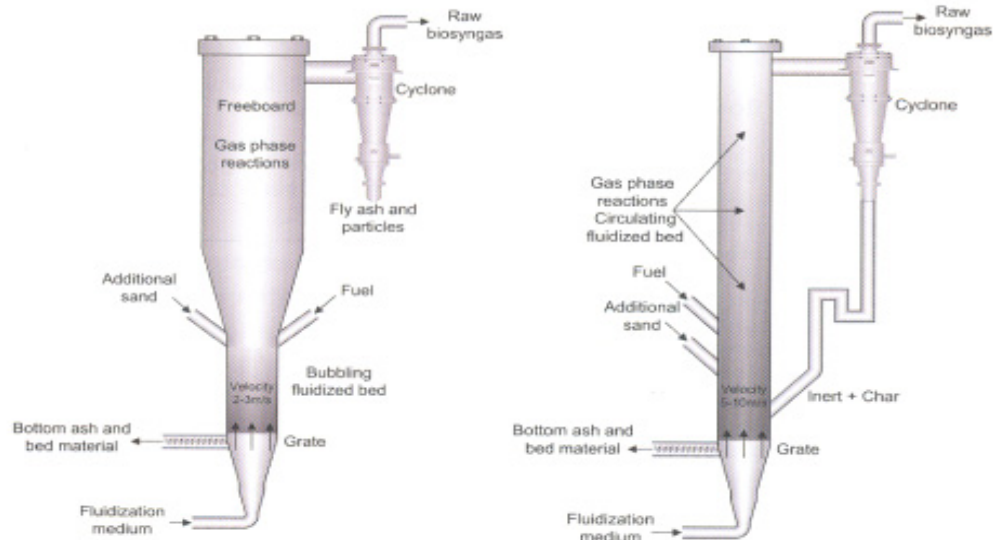


Figura 17. Gasificador de lecho fluidizado burbujeante y circulante

Algunas de las principales características de los dos subtipos:

Gasificador de lecho fluidizado burbujeante

- Alta capacidad
- Buen control de temperatura
- Valido para potencias medias

Gasificador de lecho fluidizado Circulante

- Alta capacidad, valido para altas potencia
- Poco alquitrán en el gas
- Alta temperatura del gas
- Implantación más cara

c) Gasificador de lecho de arrastre

En este tipo de gasificador el combustible (biomasa) es arrastrado en un flujo de gas paralelo a velocidades superiores a los tipos descritos anteriormente (altas velocidades). Se requieren temperaturas de 1200 °C para la obtención de buenas reacciones debido al tiempo de residencia que es demasiado corto (de orden de segundos). La operación se realiza a temperaturas altas, se opera en el modo slagging (cenizas fundidas) a elevadas presiones.

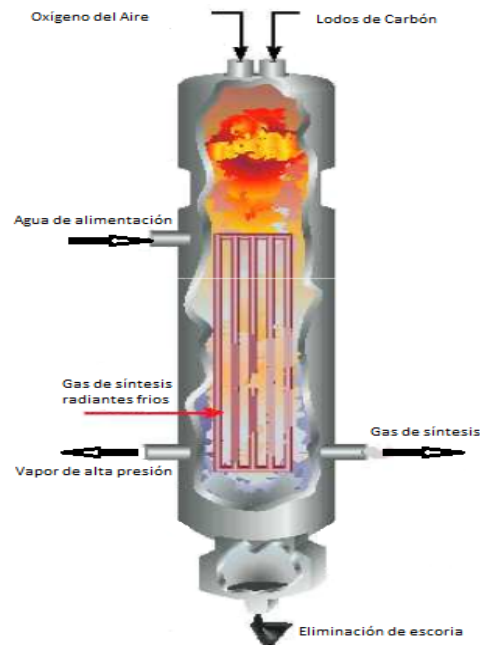


Figura 18. Gasificador de lecho de arrastre

Algunas de las principales características del subtipo:

Gasificador de Lecho arrastre

- Trabaja encima del punto de fusión de la biomasa
- Retirada de cenizas líquidas
- Operan a presión
- Tiempo de residencia del orden de segundos
- La alimentación de biomasa en tamaños muy reducidos

5.1.4 Syngas – Propiedades

El syngas saliente de los gasificadores tienen, dependiendo del agente gasificante, determinadas propiedades. En términos de sustancias combustibles normalmente está compuesto principalmente por monóxido de carbono, hidrógeno y algo de metano. Los restantes componentes son los inertes nitrógenos, dióxido de carbono, vapor de agua y también alquitrán y polvo.

La exactitud de la composición del syngas varía con los diversos factores, como es la propia biomasa, temperatura, presión, agente gasificante, grado de humedad, y el tipo de gasificador.

Tabla 5: Composición del syngas

Componente	Símbolo	Volumen (%)
Monóxido de Carbono	CO	15-32
Hidrógeno	H ₂	44-52
Metano	CH ₄	0-4
Oxígeno	O ₂	0-2
Dióxido y Carbono	CO ₂	1-15
Nitrógeno	N ₂	45-65

Fuente: (FONSECA NATALIA, Julio 2003)

5.1.5 Tratamiento del syngas (depuración y refrigeración)

Después del proceso de gasificación ocurrido en el gasificador, el syngas resultante sale con cantidades razonables de impurezas principalmente condensables (alquitranes), partículas (polvos, cenizas, arenas de lechos fluidizados), compuestos de metales alcalinos (compuestos de potasio y sodio), compuestos de nitrógeno (NH₃ y HCN), compuestos de azufre (H₂S y COS), compuestos halogenados (HCl) y compuestos de metales pesados (Cd, Zn, Hg), sobre todo cuando se utiliza residuos de madera como es el caso. Estas impurezas y las altas temperaturas de salida (por encima de los 500°C) (FONSECA NATALIA, Julio 2003) hacen que el gas resultante (syngas o biogás) no pueda ser utilizado sin tratamiento previo en un motor. Estas impurezas constituyentes del biogás dependen en gran medida de la tecnología de gasificación, los parámetros de funcionamiento y composición del combustible aplicado.

La limpieza del syngas se basa fundamentalmente en un proceso de depuración y refrigeración para conseguir las condiciones que se adecuen al uso en los motores de MCI, evitando la erosión, la corrosión de los componentes.

La cantidad de impurezas del syngas depende mucho del diseño del gasificador y de las características de la biomasa empleada. La dirección de la entrada de aire conjugada con la salida del gas resultante y el propio arrastre sufrido dentro del gasificador proporciona una mayor impureza del syngas.

En la eliminación de partículas, los métodos que proporcionan la limpieza del syngas es pasarlos por ciclones que se utilizan para separar partículas mayores (por encima de los 5 micras) (KUMAR, et al., 2009), consiguiéndose poca caída de presión y la ventaja de que son baratos y fácil de operar; filtros hechos de diversos materiales dependiendo de las diversas

propiedades (temperatura, presión, tamaño de las partículas o humedad) del gas saliente; depuradores húmedos; precipitadores electrostáticos para separar partículas más pequeñas.

La eliminación de compuestos alcalinos que están presentes en la biomasa y pueden vaporizarse a temperaturas superiores a 700°C durante la gasificación y que cuando condensados por debajo de los 650°C forman partículas (>5 micras) (KUMAR, et al., 2009) y dar lugar a la corrosión de superficies metálicas, es por medio de la refrigeración del syngas porque evita también la auto inflamación proporcionada por las altas temperatura y presión; aumenta la densidad del gas y consecuentemente la relación syngas/aire, que proporciona un aumento de la eficiencia volumétrica; evita la condensación de la humedad al momento de mezcla con aire (FONSECA NATALIA, Julio 2003).

La refrigeración es normalmente de dos tipos: seca y húmeda. La seca se basa fundamentalmente en la conducción del gas resultante por conductos refrigerantes con alta superficie de transferencia y calor. La húmeda se caracteriza por poner en contacto directo y dinámico el syngas con una mezcla fluida (agua y algunos compuestos orgánicos).

5.1.6 Usos del Syngas (ejemplos de instalaciones)

El proceso de gasificación es un proceso bastante versátil y ofrece una gran variedad de posibilidades en la hora del aprovechamiento del gas resultante como es el caso de generación de electricidad, generación de calor, productos químicos, combinando con gas natural como combustible, fertilizantes (UPC CEPIMA , 2008), etc., pero en este trabajo se estudiará solamente el uso del syngas para la generación de energía y para la generación de calor que son los usos más importantes y teniendo en cuenta que uno de ellos es el objetivo principal del proyecto.

- **GENERACION DE CALOR**

Al proporcionar la combustión del syngas se proporciona la generación de calor, esta generación puede ser de forma directa o en calderas para alcanzar mayores temperaturas de combustión y consecuentemente lograr el aumento de la eficiencia del equipo. La técnica de uso de calderas u hornos es bastante usual en las industrias que necesiten una mayor temperatura para sus operaciones, como acontece en la industria cerámica. La tecnología de calentamiento de edificios es bastante usual en los países desarrollados y constituye una de las formas de utilización del syngas que más se desarrolla en el mundo debido a la necesidad de remplazar el combustible fósil.

- **GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA**

La tecnología se usa para la producción de energía eléctrica aprovechando el gas saliente de los gasificadores, conectándoles con un MCI generando energía mecánica e posteriormente energía eléctrica con auxilio del alternador. Esta aplicación es ampliamente usada y a escala variada que puede ir desde pequeñas instalaciones (KW) a grandes instalaciones (MW), considerando grandes instalaciones a partir de 500 KW.

Estas instalaciones son altamente automatizadas y el uso de distintos tipos de gasificadores varía con las características de la biomasa y de la planta.

5.1.7 Motores de Combustión interna de Gas

Los motores son máquinas capaces de transformar la energía desprendida en una reacción de combustión en energía mecánica. Los combustibles gaseosos de mayor aplicación son el gas natural y el propano. Para la utilización del syngas procedente de la madera como se propone en este proyecto, se analizaron las características de dos fabricantes: Guascor y Jenbacher.

- ❖ **Motores Guascor**

La empresa Guascor es una empresa originalmente española que ahora mismo pertenece al grupo Drasser-rand, de fabrico y distribución de motores por todo el mundo a más de 40 años. Se dedica a la fabricación de motores de combustión interna para distintos combustibles. El interés es buscar dentro de la serie de motores disponibilidades por la empresa, el que mejor se adecua al tipo de combustible utilizado, concretamente los motores de combustibles gaseosos.

Después de una breve observación del sitio web de la empresa, analizando su amplia oferta, la elección va para el motor FGLD, Rango de salida 260-800 KWB ((1500-1800 rpm). Es de acuerdo con sus especificaciones el que se encuadra con lo que se pretende.

- Desarrollado para gas natural, biogás, gas de vertedero y gas alcantarillado.
- Se suministra como un motor independiente, generador de grupo electrógeno, con sistemas de cogeneración (CHP) skid por separado, o en una unidad de contenedor completamente montado (ruido aislado si se requiere).



Figura 19. FGLD SERIE MOTOR (Dresser-Ran, 2015)

Estos motores son comúnmente instalados en cogeneración con biogás en diferentes aplicaciones donde se requiere eficiencia eléctrica, fácil operación y servicio y alta flexibilidad de operación (Dresser-Ran, 2015). Sus características incluyen también sistema de encendido con control electrónico, turbocompresor de alto rendimiento, opciones de alta temperatura de enfriamiento (120 °C en el circuito principal y 80 °C en el circuito auxiliar) para los requisitos especiales de cogeneración.

❖ Motores Jenbacher

Es una empresa que se dedica a diversas áreas de negocio y de entre ellas la fabricación de motores. Tienen su sede en la ciudad de Jenbach en Austria, pero con filiales en países como Dinamarca, Alemania, Italia, Holanda, España en Europa y Sudáfrica, Brasil, China, India, Estados Unidos en resto del mundo.

Analizando sus productos, se verifica que dentro de las opciones existentes se constata que el motor tipo 3, **J 312 GS** es el motor que por sus especificaciones se encuadra en nuestras especificaciones.



Figura 20. Motor tipo 3, J 312 GS (ge-energy, s.f.)

El motor Jenbacher tipo 3, **J 312 GS** es un motor gama de potencia en 500 y 1000 kW con las siguientes características:

- Gran flexibilidad gracias a la refrigeración de la mezcla de dos etapas.
- Bujía de encendido de gran durabilidad y alto rendimiento para un funcionamiento fiable
- El control de mezcla pobre garantiza emisiones mínimas.

Tabla 6. Especificaciones del motor a gas tipo 3 Jenbacher

Especificaciones técnicas del J 312 GS	
Número de cilindros / disposición:	12 / V 70°
Combustión:	Sistema de mezcla pobre
Diámetro interior:	(135cm)
Recorrido:	(170 cm)
Velocidad:	1.500 / 1.800 rpm
Dimensiones del grupo electrógeno (en pies):	451,1 (largo) por 170,69 (ancho) por 228,6 (alto)
Dimensiones del grupo electrógeno (en mm):	400 (largo) por 170 (ancho) por 230 (alto)
Peso:	(7.800 kg)

5.1.8 Estado actual de los gasificadores

Actualmente el proceso de gasificación más concretamente los gasificadores pasan por el desafío del aumento de la eficiencia energética del sistema y el desarrollo de tecnologías robustas y eficientes para la limpieza del gas de producto y su conversión en combustibles y productos químicos valiosos.

Con el pasar del tiempo las empresas en conjunto con los estudiosos en la materia intentan optimizar cada vez más el proceso de gasificación, aumentando el uso de esta tecnología en la producción de energía eléctrica y calefacción. Ejemplo de esto es el esfuerzo para optimizar la velocidad de flujo de biomasa para el sistema de gasificación, consiguiendo un flujo óptimo se maximiza la eficiencia de todo el proceso e consecuentemente la eficiencia energética. La tasa de flujo y biomasa depende principalmente del diseño del gasificador e las propiedades de biomasa (características cambiantes en constante desarrollo).

5.1.9 Instalaciones de generación eléctrica con syngas

Hay una gran oferta de gasificadores en el mercado español, empresas españolas y extranjeras ofrecen equipos que dependiendo de la instalación pretendida se busca aquella que ofrece equipos más adecuados a las condiciones y objetivo del proyecto.

En este apartado se hace referencia a las empresas que disponen en el mercado gasificadores, que se adecuen a las características de la planta. Estos fabricantes normalmente tienen una política de (llave en mano), lo que presupone una instalación completa de los equipos necesarios para la producción de energía eléctrica, se intenta también mencionar ejemplos de plantas que estas u otras empresas tienen en funcionamiento.

TECNOLOGIAS ESPAÑOLAS

A. TAIM WESER

Es una empresa española capaz de desarrollar proyectos llave en mano con alto grado tecnológico en cualquier país del mundo de una manera competitiva en los ramos de mantenimiento, grúas, tratamiento de residuo y energías renovables. A partir de sus instalaciones en Zaragoza con colaboración de la universidad de Zaragoza e © (Instituto para Diversificación y Ahorro Energético) han desarrollado la tecnología de gasificación que se materializo con la creación de una planta de gasificación de alta eficiencia energética para la producción de energías eléctrica y térmica a partir de biomasa, tecnología está que ya está disponible para comercialización.

En la planta de Zaragoza la biomasa utilizada proviene de residuos agroforestales y madereros, la gasificación se consiguen con déficit de oxígeno mediante la utilización del aire como agente gasificante en un gasificador tipo DOWNDRAFT de lecho fijo en corrientes paralelas descendientes, caracterizado por el bajo contenido en alquitranes.

La energía térmica producida se la aprovecha para el secado de la biomasa que puede llegar a la planta con densidades distintas de la óptima (10-15%) y también para otras aplicaciones que la TAIM WESER desarrolla a gusto del cliente como por ejemplo calefacción comunitaria de edificios.

Tabla 7: Características de la planta de Zaragoza – TAIM WESER

planta de Zaragoza	
Consumo de biomasa	650 – 750 Kg/h
PCI del syngas	1,32 – 1,55 kWh/Nm ³
Caudal de gas en motor	1170 – 1470 Nm ³ /h
Cenizas	15 – 35 Kg/h
potencia eléctrica	650 – 750
Tiempo de operación	7000h/año

Como se puede constatar en las características de la planta, la misma tiene una potencia de eléctrica de 750 kW mientras que para la planta piloto de la isla de Príncipe se necesitará de una potencia menor (500kW), no obstante, este por menor no es un problema porque la empresa puede desarrollar un gasificador con las características que pretendemos.



Figura 21. Gasificador TAIM WESER (TaimWeser, 2012)

B. ENERGRUP

Una empresa también española habilitada por el IDAE (Instituto para Diversificación y Ahorro Energético) especializada en el desarrollo de proyectos relacionado con el uso racional de la energía y especialista en Biomasa. La empresa realiza proyectos de instalaciones sostenibles para particulares o empresas públicas o privadas y con la especificidad de adaptarse a las exigencias y necesidades de los clientes. La empresa presenta una vasta gama de potencias posibles.

Tabla 8: Gasificadores disponibles - ENERGRUP

GASIFICADORES					
Modelo Power Pack "ANKUR"	Potencia Nominal (Kwe)		Potencia Absorbida Motores auxiliares (kWe)	Modelo Gasificador Biomasa "ANKUR"	Consumo Horario Biomasa Kg/h (Astillas al % de humedad)
	Nominal	Neta			
GAS - 250	250	225	25	WBG - 400	250
GAS - 320	320	290	30	WBG - 500	320
GAS - 500	500	455	45	WBG - 700	500
GAS - 750	750	682	68	WBG - 850	750
GAS - 1100	1100	910	90	WBG - 1100	1100
GAS - 1500	1500	1365	135	WBG - 1800	1500

Mediante la tabla ofrecida por la empresa ENERGRUP se puede constatar que de forma exclusiva el modelo GAS-500 es suficiente para satisfacer las necesidades de la planta que se instalará en la Isla de Príncipe sin necesidad de poner trabajando dos modelos para sostener la demanda pretendida.



Figura 22. Gasificador downdraft (ANKUR CAEMA) (CAEMA, 2012)

El gasificador Kaema Ankur-Scientific es un gasificador que utiliza la tecnología de lecho fijo, utiliza como agente gasificante el aire del tipo DOWNDRAFT, tiene una eficiencia de gasificación del 80%, es decir, el 80% del poder calorífico de la biomasa se transforma en syngas. Usando astillas de 15% de humedad óptima, se obtiene un consumo específico de 1Kg de Biomasa por cada Kwh. Si el residuo carbonoso (carbonilla) de la gasificación se retorna al proceso, el rendimiento total puede subir hasta los 85-87%.

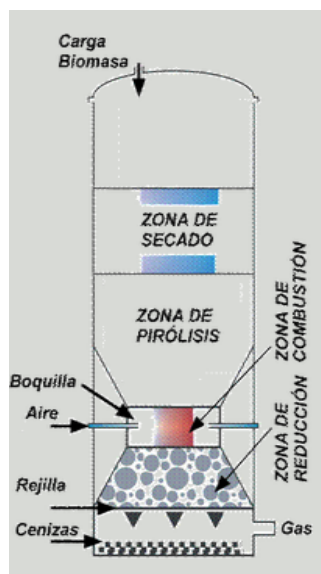


Figura 23. Esquema de gasificación – EENERGRUP (ENERGRUP, 2014)

El gasificador ha sido diseñado para funcionar en continuo, 24 h/día durante 8 000 horas/año. Transforma la biomasa en syngas con un poder calorífico medio de 1 200 kcal/kg.

La composición química promedio del syngas es la que se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 9. Composición del syngas – ENERGRUP

Componente	Porcentaje (%)
CO	16-18
H ₂	16-18
CH ₂	2-3
N ₂ (Gas no Combustible)	Resto
CO ₂ Gas no Combustible)	
O ₂ (Gas no Combustible)	

- Energía eléctrica: El rendimiento eléctrico se sitúa entre el 30 al 36%, en función del tipo de motor. Los motores normalmente usados en los gasificadores Ankur Scientific son Cummins y Perkins, que tienen un rendimiento del 30% con unos razonables costes de inversión y mantenimiento y una comprobada fiabilidad en 20 años de experiencia. A requerimiento del cliente están disponibles otros motores (GE-Jenbacher, Guascor, etc...).
- Energía térmica: Se produce en forma de gases de escape a 450º-500ºC y agua caliente a 85º-90ºC (circuito de refrigeración del motor). Usando los gases de escape para el secado de la biomasa con humedad superior al 20%, toda la energía térmica del circuito de refrigeración está disponible. La relación de cogeneración es en este caso de 1 kWh

térmico por cada kWh eléctrico. El calor estará disponible durante todo el tiempo de funcionamiento del motor (8 000 h/año). En caso de no ser usado, será disipado por el radiador de servicio.

C. EQTEC

Es otra de las empresas españolas especializada en diseño fabricantes, operación y mantenimiento de plantas de energía que tiene diversificadas otras ramas de negocio, como son: la energía solar fotovoltaica, cogeneración y micro-generación. Esta empresa forma parte también del grupo EBIOS Energy, un grupo industrial de ingeniería con presencia internacional en la producción de energía mediante la gasificación de residuos. Las plantas de energía de esta empresa van el orden de 60 kWe a 40 000 kWe. Su oficina central está localizada en Barcelona.

Actualmente disponen de varias plantas de gasificación en funcionamiento en países como España, Portugal, Francia, Alemania e India. Tienen como proyectos destacados, los proyectos nominados de SORGENIA (1MW), KORLOVO BIOMASS (2 MW) y MOVIALSA (6 MW).

El proyecto que más se parece al de la planta a instalar en la isla de príncipe es la de la planta de gasificación de Tatta Coffee en Theni (Tamil Nadu-India). Esta planta tiene una generación de 0,7 Mwe y la materia prima es cascarilla y residuos del café en funcionamiento desde 2011.

Para que se tenga características más técnicas de las instalaciones fabricadas por esta empresa, se vio una de las plantas destacadas anteriormente porque son las que en su página web están destacados con más datos.

SORGENIA- Castiglione D'Orca – Italia

Es una planta de generación eléctrica, cuenta con un gasificador de lecho fluido burbujeante que logra mejorar la mezcla entre material inerte y el combustible, la materia prima es pellets de paja y está en funcionamiento desde Junio de 2013.

La planta está compuesta por:

- Zona de recepción y almacenamiento del residuo (pellet de paja)
- Zona de Gasificación.
- Zona de Purificación del Gas de Síntesis.
- Zona de Generación de Energía Eléctrica.
- Zona de interconexión eléctrica con la Red.

- Zona de control de emisiones.
- Sistema de monitorización- EQTEC MONITORING PLATFORM (EMP)

Tabla 10. Datos energéticos del gasificador – EQTEC

Datos Energéticos	
Consumo de residuos	900 kg/s
Nº de Gasificadores	1 ud
Potencia eléctrica	999 kW
Nº de motogeneradores	1 ud
Fabricante	Jenbacher/612
Rendimiento eléctrico	25,50%

En la figura 25 se presenta la planta de gasificación que la empresa posee en Italia.



Figura 24. Planta de gasificación EQTEC Sorgenia SPA

TECNOLOGIAS ESTRANJERAS

D. WUXI TENENG POWER MACHINERY

Es una empresa China situada en la ciudad de Wuxi en la provincia de Jiangsu a poco menos de 128 km de Shanghái. Esta empresa se dedica a la construcción de gasificadores de biomasa, equipos de tratamiento de biomasa, equipos de gasificación de carbón, grupos electrógenos de gas y cuenta con experiencia desde 1986. La empresa logra una exportación de 50% sus productos, con equipos instalados en Filipinas, Camboya, Myanmar, Tailandia, Vietnam, Indonesia, India, África, Europa, América del Sur y otros países y regiones.

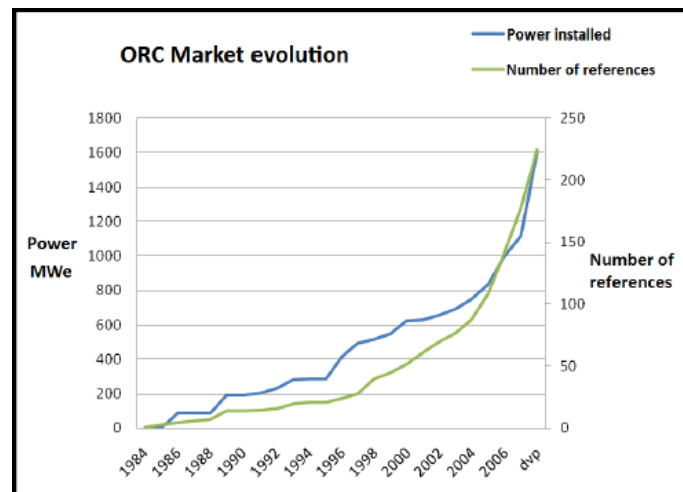


Figura 26. Evolución del mercado ORC (ENERTIME, 2015)

En cuanto a los fluidos de trabajo utilizados en el sistema ORC, en el diagrama (T-S Figura 26), se pueden constatar dos diferencias principales con respecto al agua: la primera es que la pendiente de la curva de vapor saturado (curva a la derecha de la cúpula) es negativo para el agua, mientras que la curva es mucho más cercana a la vertical para fluidos orgánicos. Como consecuencia, la limitación de la calidad de vapor al final del proceso de expansión desaparece en un ciclo ORC, y por lo tanto no hay problemas de corrosión en álabes. La segunda es que la diferencia de entropía entre líquido saturado y vapor saturado es mucho más pequeño para los fluidos orgánicos. Por lo tanto la entalpía de vaporización es más pequeño. Por eso, para potencias térmicas iguales en el evaporador, el caudal másico del fluido orgánico de trabajo debe de ser mucho mayor que para el agua, lo que conduce a un mayor consumo de la bomba. (Sylvain QUOILIN, 2012)

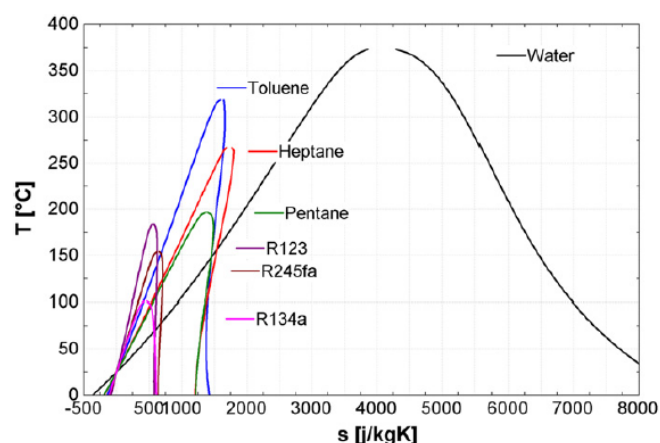


Figura 27. Diagramas T-S de agua y diversos fluidos ORC típicos (Sylvain QUOILIN, 2012)

El ORC es un sistema que viene a ser cada vez más utilizado sobre todo en aplicaciones geotérmicas, biomasa y solar. Esto se debe a las ventajas que tiene en comparación con el

ciclo básico de Rankine. El sistema ORC proporciona más garantías cuando el nivel de entalpia de la fuente de calor es de baja temperatura, con temperaturas de operación entre los 70 y 300 °C, en plantas de baja escala de potencia o cuando el tamaño del módulo es demasiado pequeño.

Ventajas

- Los módulos ORC son fáciles de instalar (compacto, skidmounted módulo estándar) y muy fácil de operar;
- Los sistemas de ORC requieren poco mantenimiento. Ausencia de erosión en las alabes de la turbina, baja sollicitación mecánica de las turbinas debido a una baja velocidad periférica del rotor, evaporador de baja presión, automatización), reducido tiempo de inactividad para mantenimiento, reducido coste de funcionamiento.
- Elevado rendimiento del ciclo termodinámico
- Rendimiento muy elevado de la turbina (85%).
- No hay necesidad de sobrecalentamiento
- Baja temperatura a la entrada de la turbina.
- Baja presión de evaporación.
- Mayor presión de condensación.
- No necesita de un sistema de tratamiento de agua.
- Por su reducido tamaño del sistema (de pocos kWe a varios Mwe) son perfectamente adecuados para el aprovechamiento de diversas fuentes termales.
- Vida operativa del sistema muy larga debido a las características del fluido de trabajo que difiere del vapor de agua.

Desventajas

- El uso de ciertos líquidos orgánicos necesita de más medidas de seguridad estrictas en comparación con el ciclo de vapor debido a su mayor inflamabilidad, y en algunos casos, la toxicidad (fluido de trabajo de menor estabilidad química) en comparación con el agua/vapor. Sin embargo, dado el gran número de instalaciones de diferentes tamaños en todo el mundo, y el hecho de que todo el sistema es un sistema cerrado con pocas posibilidades de fugas, muy poca o cero inflamabilidad y el problema de toxicidad puede considerarse insignificante.
- Fluido de trabajo de costo más elevado.
- Alto consumo de la bomba.

- Dado que la tecnología todavía no está en gran desarrollo en Santo Tomé y Príncipe, al contrario de otros países desarrollados, también hay una necesidad de creación de capacidad a gran escala de los operadores y técnicos de mantenimiento de los sistemas.

5.2.1 Funcionamiento del ORC

El ORC es una tecnología usada para la generación de electricidad aprovechando la fuente de calor de baja entalpía o combustible de baja calidad. En algunos casos cuando hay demanda de calor, se opta también por la cogeneración.

En términos de operación técnica el ORC funciona de forma idéntica al ciclo básico de Rankine. De acuerdo a la (figura 29), el fluido de trabajo es vaporizado en un evaporador a partir del calor transmitido por un fluido caloportador (Punto 4-1) proveniente de la fuente de calor (caldera). Seguidamente el fluido de trabajo es expandido en una turbina (punto 1-2), convirtiendo la energía térmica en energía mecánica. Con la utilización de un alternador acoplado a la turbina, se convierte la energía mecánica en energía eléctrica. Al salir de la turbina el fluido es enfriado en un condensador (punto 2-3) por medio de la transferencia de calor entre el fluido de trabajo y el fluido refrigerador obteniéndose un líquido saturado. De allí, en fase líquida el fluido entra en una bomba responsable por aplicarle presión y enviarlo de vuelta al evaporador cerrando de esta manera el ciclo (punto 3-4).

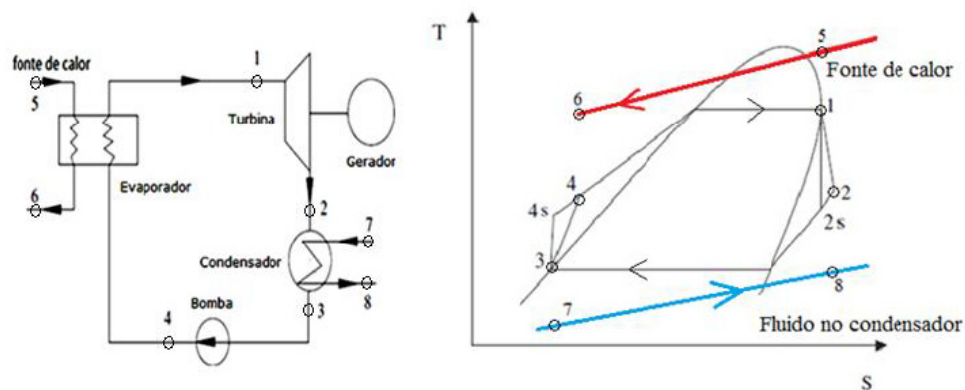


Figura 28. Ciclo ORC básico y diagrama T-S (LÓPEZ-ABENTE MUÑOS, 2013)

Una de las modificaciones más frecuentes en el ORC básico es la instalación de un recuperador entre la salida de la bomba y a salida de la turbina. La instalación de este recuperador, permite reducir la cantidad de calor necesaria para la vaporización del fluido de trabajo y con esto aumentar la eficiencia del ciclo. En esta configuración (figura 30), el fluido de trabajo a la salida de la bomba (punto 4) ingresa en el recuperador donde es precalentado y enviado para el evaporador (punto 10) para ser evaporado.

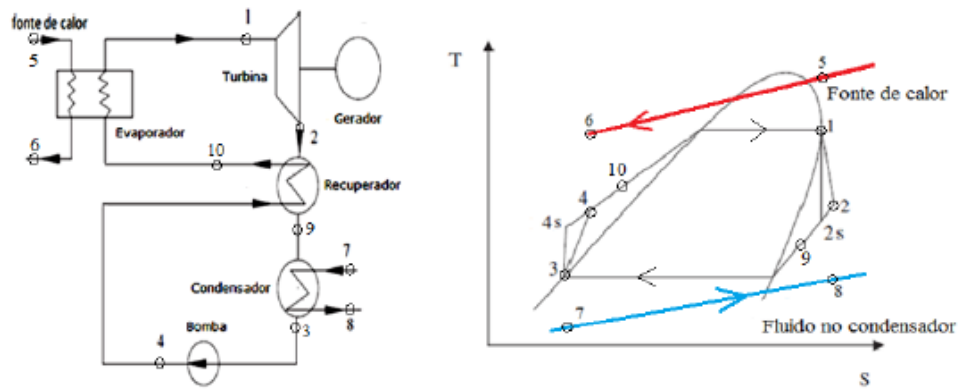


Figura 29. ORC con recuperador y diagrama T-S (LÓPEZ-ABENTE MUÑOS, 2013)

El aceite térmico (fluido caloportador) entra en las dos configuraciones anteriores como fluido intermedio de transferencia de calor. La transferencia de calor al fluido de trabajo en un ORC puede ser hecha de dos maneras distintas: transferencia directa de calor para el fluido de trabajo o a través de un fluido intermedio, que es integrado al sistema para transferir calor de la fuente caliente al evaporador, y consecuentemente al fluido de trabajo.

En configuraciones de evaporación directa, el proceso es más eficiente y técnicamente más simple, pero presenta desventajas. En esta configuración el fluido de trabajo puede deteriorarse a consecuencia de su temperatura máxima de estabilidad química ser alcanzada, porque el control de estabilidad del sistema es más difícil, o cuando la caldera presenta puntos calientes (TCHANCHE, 2011), mientras que en la configuración en que existe un fluido térmico intermediario, este fluido amortigua las variaciones de la fuente caliente (Quoilin et al., 2013). Como consecuencia de estas desventajas, las instalaciones de ORC que integran un proceso de combustión, suelen usar la configuración en que se usa un fluido intermediario.

Una vez tratándose de una tecnología de aprovechamiento de fuentes de baja y media temperatura, el ORC opera (entre los 60 y 200 °C) para fuentes de bajas temperatura y pudiendo llegar a los 350 °C en casos de fuentes de media temperatura (SALEH & al, 2007). Esta amplitud de temperaturas permite trabajar en variadas fuentes de calor y gamas de potencias. La (figura 31) muestra la gama de potencias y eficiencias en las que los ORC son más ventajosos.

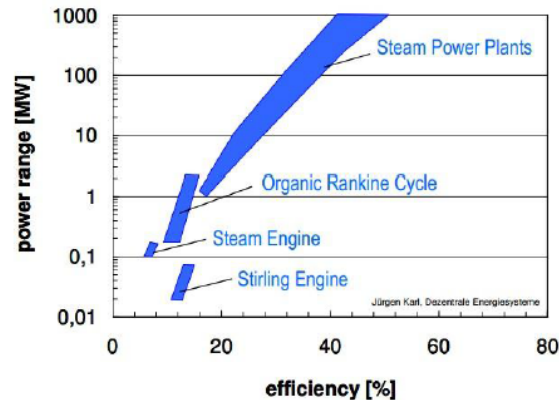


Figura 30. Gráfico de potencia – Eficiencia (SPLIETHOFFS & SCHUSTER, 2006)

5.2.1.1 Diferentes configuraciones

El ORC puede tener dos configuraciones distintas: el subcrítico y el supercrítico, de la misma forma que en un ciclo de Rankine convencional. Estas dos configuraciones se son diferenciadas por el paso del proceso de calentamiento del fluido por encima o por debajo de su punto crítico. En el subcrítico, este calentamiento es debajo de su punto crítico, el proceso de cambio de fase líquido-vapor será lugar por debajo de la curva campana bifásica en el diagrama T-S. En el supercrítico se trata de un aumento de la presión del líquido, el proceso de calentamiento en este caso para por encima de la curva campana bifásica, tratase de una evolución del ciclo básico, como demuestra la (figura 33).

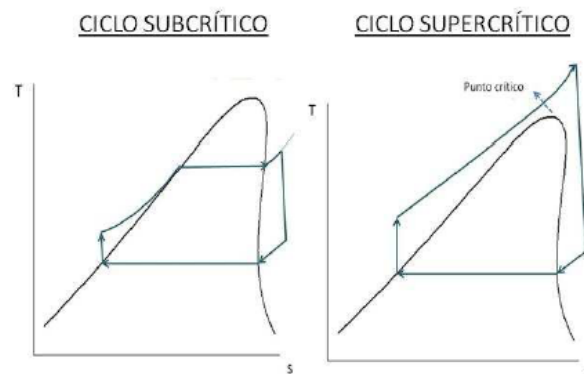


Figura 31. Configuración ciclos críticos y supercríticos (LÓPEZ, 2010)

En la configuración supercrítica, se consigue un perfil de temperaturas más próximas del foco caliente que en la configuración suscritica, por lo que se producen menos irreversibilidades en las calderas de recuperación (LÓPEZ, 2010). En los ciclos supercríticos la temperatura media de transferencia de calor aumenta y por eso el rendimiento del ciclo también aumenta.

5.2.2 Cogeneración

Una planta de producción de energía eléctrica con biomasa a partir del ORC tiene como principal objetivo la generación de energía eléctrica gracias al aprovechamiento de calor generado en la caldera. La planta sin embargo puede generar simultáneamente energía eléctrica y térmica útil. El término proviene del inglés CHP (combined heat and Power) y tiene la ventaja de producir electricidad y calor dentro del mismo proceso.

A diferencia de un ciclo básico de Rankine convencional donde es requerido un foco de calor de alta temperatura, en el proceso ORC es permitido la recuperación o utilización de calores de temperaturas más bajas debido al uso de compuestos orgánicos con bajos puntos de ebullición y alto peso molecular que añade grandes ventajas como es el caso de biomasa residual como combustible o la recuperación de calores residuales de procesos industriales.

El calor procedente de la cogeneración se puede aprovechar en diversos procesos tales como: Secado de biomasa, suministro de agua caliente, potabilización e invernadero.

5.2.3 Fluidos de trabajo

Como se denota por el nombre del sistema, el ORC trabaja con fluidos distintos a los del ciclo básico de Rankine, normalmente hidrocarburos naturales (propano, butano, pentano, hexano, octano, nonano, dodecano...) o halogenados (R134a, R218, R245fa...). Estos fluidos son escogidos por sus características peculiares (baja toxicidad, buena estabilidad, compatibilidad con el material de los tubos y la máquina de expansión, poco inflamable, poco corrosivo) para la utilización en el sistema.

El agua tiene algunas ventajas comparadas con los fluidos orgánicos en términos de características intrínsecas, como son, muy buena estabilidad térmica/química (sin riesgo de descomposición), es un fluido barato y abundante (al menos en la zona del estudio), baja viscosidad (requiere menor trabajo de bombeo), no es tóxico ni inflamable, o sea, medioambientalmente seguro. Aunque tenga todas estas características, presenta una curva de saturación en el diagrama T-s propia de un fluido húmedo ($dT/ds < 0$) (JIMÉNEZ DOUGLAS, 2013). Fluidos con una curva de saturación con pendiente de vapor saturado ($dT/ds > 0$) son denominados fluidos secos, y los isotrópicos, la curva de saturación es prácticamente paralela a la línea de expansión isotrópica ($dT/ds \approx 0$). Estas son características más importantes que presentan los fluidos orgánicos respecto al agua. Estas características confieren a los fluidos que presenten este tipo de curvas de saturación, se asegura que aunque se parta de vapor saturado, el proceso de expansión en la turbina termina en la

región de vapor sobrecalentado o saturado, eliminando el riesgo de formación de gotas en la turbina que puedan provocar problemas en los álabes. (JIMÉNEZ DOUGLAS, 2013)

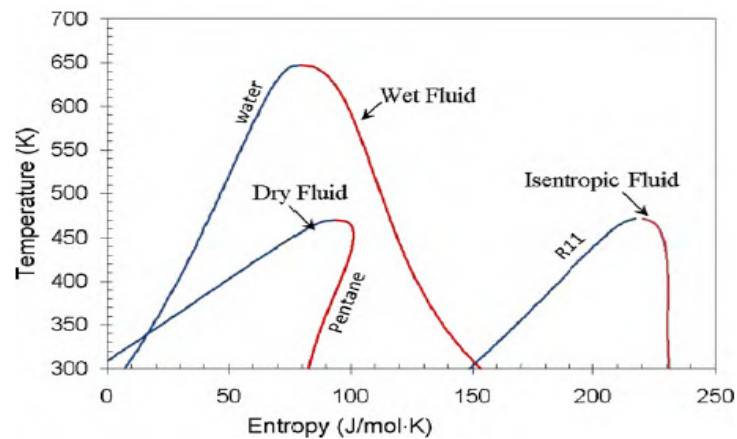


Figura 32. Los tres tipos de fluidos de trabajo: Seco, isentrópico y húmedo (CHEN, et al., 2010).

Por ello, el agua es apropiada para el uso en aplicaciones a elevadas temperaturas, lo que no es el caso en la recuperación de calor a partir de la quema de biomasa. La temperatura crítica es propia de cada fluido, pero en los ciclos ORC resulta siempre inferior a 250°C. Este hecho, juntamente con el hecho de que la presión crítica no es elevada (por debajo de 50 bar), permite plantear la realización de ciclos ORC supercríticos de forma mucho más simple que cuando se emplea agua.

Hay siempre que tener en cuenta la legislación vigente para el control de la utilización de los fluidos.

Los fluidos de trabajo en ORC se eligen de acuerdo a la aplicación, las temperaturas de la fuente de calor disponible. Es importante tener en cuenta la eficiencia del ciclo, visto que es uno de los criterios más importantes en un proyecto, pero hay otros criterios que deben ser tomados en cuenta cuando se elige el fluido ideal: (David, et al., 2011)

- ✓ La temperatura de auto inflamación deberá estar por encima de la temperatura de trabajo;
- ✓ La pérdida de entalpía en la turbina tiene que ser máxima con el fin de minimizar el flujo de masa que fluye en la bomba. El consumo de la bomba será, por tanto, más bajo, incrementando la eficiencia del ciclo de red;
- ✓ En el diagrama de entropía versus temperatura, la inclinación de la curva tiene que ser lo más cerca posible de la curva isotrópica (vertical), para evitar el exceso de sobrecalentamiento en la salida de la turbina;

- ✓ Elevada temperatura de auto ignición, para evitar el riesgo de la explosión durante la operación o de quemar el fluido de trabajo
- ✓ El impacto ambiental tiene que ser el mínimo;
- ✓ El costo de los fluidos debe ser incluido en análisis.

La cantidad de fluidos potencialmente usados en un sistema ORC es grande, esto permite una mejor adaptación de la temperatura de la fuente caliente.

- Los fluidos refrigerantes se utilizan para las fuentes de baja temperatura, entre los 100^o C y 150^o C ;
- Los hidrocarburos permiten su utilización en fuentes de media a alta temperatura, entre los 150 y 250^o C;
- Los siloxanos, compuestos de cadenas carbonadas con un átomo más de silicio, permiten su utilización en fuentes muy calientes, con temperaturas a partir de 250^o C;

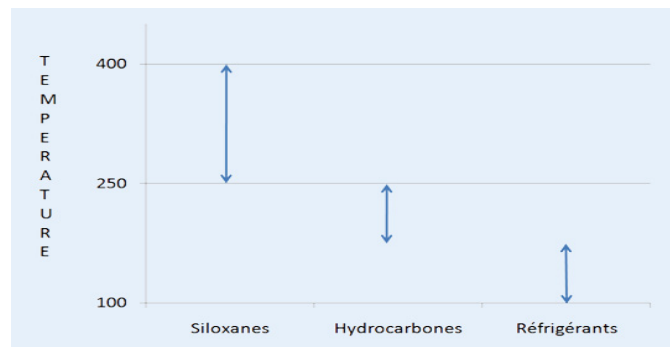


Figura 33. Rango de temperaturas de los fluidos (Enertime, 2009)

5.2.4 Fuentes de calor

La gran versatilidad del ORC hace que este sistema tenga una gran potencialidad para aprovechamiento en fuentes de calor de baja temperatura. Por este motivo y por algunas ventajas ya referidas anteriormente, en los últimos años se ha verificado una creciente procura por la instalación de este tipo en sectores industriales variados.

El ORC se adapta también a operar con combustibles fósiles, pero durante el desarrollo de la tecnología se ha apostado en su utilización en fuentes renovables, como son biomasa, geotermia, solar y calor residual en procesos industriales.

5.2.4.1 Biomasa

Biomasa como recurso inagotable de energía que es, encontrándose disponible en gran cantidad por procesos agrícolas, industrial y residuos urbanos se adapta perfectamente como una fuente de calor para producción de energía. Biomasa es una de las mayores fuentes de

energía en países desarrollados, la contribución de esta fuente puede llegar a los 90% (TCHANCHE, 2011), con gran parte de esta energía siendo producida de forma sostenible.

Una de las grandes ventajas de este combustible es la posibilidad de obtención de energía térmica como subproducto de las plantas ORC con biomasa por la posibilidad de integración del calor en procesos industriales como por ejemplo el secado de la madera (reducción de humedad), puesto que el transporte de este calor a grandes distancias es técnicamente complejo. En instalaciones pequeñas el costo de producción exclusiva de energía eléctrica es poco competitivo y la forma de conseguir mejor competitividad es la implementación de sistemas de cogeneración (electricidad y calor).

5.2.4.2 Energía geotérmica

La energía de la tierra como comúnmente es llamada es una fuente de energía renovable que se encuentra almacenada bajo la superficie de la tierra en forma de calor, ligada a volcanes y aguas termales fumarolas, géiseres (IDAE, s.f.).

La energía geotérmica puede ser usada para procesos de calentamiento y/o generación de energía eléctrica. Es una energía que varía de dependiendo del lugar en la tierra y por eso no todos los lugares del planeta tienen el mismo gradiente geotérmico. El gradiente geotérmico medio cerca de la superficie de la tierra es de aproximadamente 25 °C/km (TCHANCHE, 2011) y es algo que no está perfectamente distribuido, haciendo con que algunos lugares sean más apropiados que otros para la instalación de plantas geotérmicas.

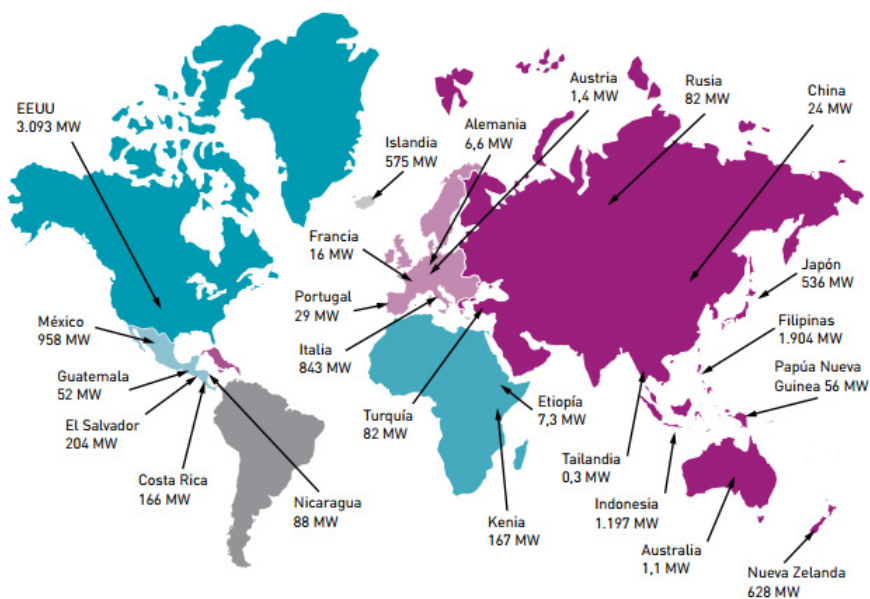


Figura 34. Potencias geotérmicas instaladas en el mundo (IDAE, 2011)

El límite tecnológico inferior actual para la generación de energía a partir de fuentes geotérmica es de 80 °C, para temperaturas por debajo de este valor tornase muy pequeña la eficiencia de conversión y por eso no es rentables. El límite superior esta alrededor de unos 300 °C (QUOILIN, 2011).

Temperature	MWth	MWe
65-90°C	147736	10462
90-120°C	75421	7503
120-150°C	22819	1268
150-225°C	42703	4745
225-350°C	66897	11150

Figura 35. Potencial de energía geotérmica en Europa para distintos rangos de temperatura de la fuente de calor (QUOILIN, 2011)

Técnicamente la recuperación de calor en geotermia se procesa con la perforación de un pozo de producción y un de inyección. El fluido geotérmico es inyectado en el pozo de inyección y bombeado a partir del pozo de producción y pasando por el evaporador con la finalidad de evaporar el fluido térmico y volviendo a ser inyectado con una temperatura inferior, cerrando el ciclo del fluido geotérmico como demuestra la figura 40.

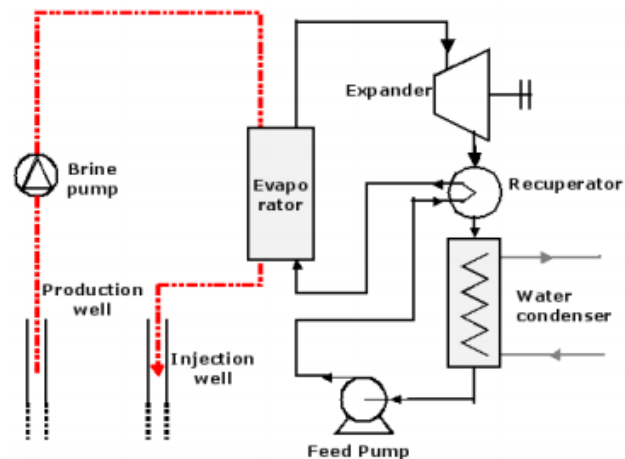


Figura 36. Principio de funcionamiento de un sistema ORC geotérmico

La geología del local de instalación de una planta geotérmica determina la profundidad del pozo, el tiempo de trabajo y más de 70 % de costo total de la planta (QUOILIN, 2011).

Así como en todas las obras de perforación de pozos, la bomba ocupa una posición de principal importancia porque es el equipamiento responsable por la circulación del fluido geotérmico (compuesto por agua mayoritariamente) por los pozos y porque se trata de vencer grandes profundidades de circulación del fluido y a alta velocidad.

5.2.4.3 Energía solar

Una energía inagotable que proviene de la radiación solar que a pesar de la gran cantidad que llega a la superficie de la tierra aun no es también aprovechada como se podría ser. Una de las tecnologías para la conversión de esta energía en electricidad es la concentración de energía solar (concentrating solar power).

Es una tecnología ya comprobada, tratase de un monitoreo del sol en que se concentra la luz del sol por intermedio de espejos o lentes en un colector puntual, transfiriendo el calor para un fluido que seguidamente se usa en un ciclo de producción de electricidad. Normalmente se usa con más frecuencia los concentradores parabólicos, lineares, torres solares y discos parabólicos (QUOILIN, 2011) como demuestra la figura 41.

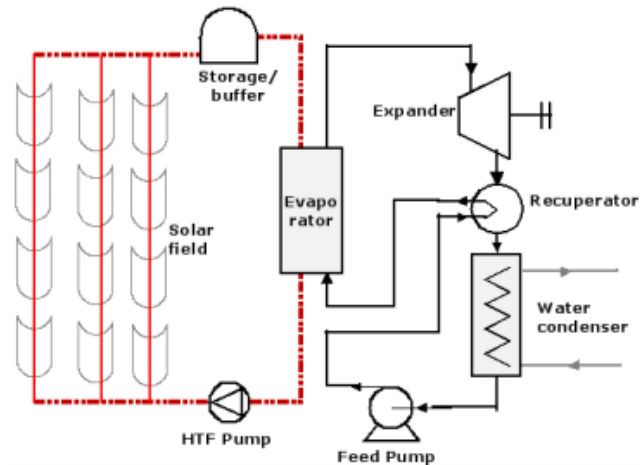


Figura 37. Principio de funcionamiento de un ORC solar (QUOILIN, 2011)

Las torres solares y discos parabólicos son tecnologías de concentración puntuales, requieren un factor de concentración mayor y temperaturas más elevadas. Los ciclos de alimentación más adecuados para estas tecnologías son el motor Stirling (plantas de pequeña dimensión), ciclos de vapor, o mismo ciclos combinados para torres de concentración solar.

A temperaturas más bajas (300 – 400 °C) trabajan los concentradores parabólicos que son asociados principalmente al ciclo convencional de Rankine para producción de electricidad. De la misma forma que en plantas de biomasa o geotermia en que el ciclo de Rankine convencional requiere altas presiones y potencia para que sean rentables, esta limitación se mantiene en esta tecnología (QUOILIN, 2011).

El ORC se posiciona como una tecnología promissora que puede disminuir el coste de las plantas de pequeña escala. Con el ORC se puede operar a temperaturas más bajas en los colectores lo que mejora el rendimiento térmico (disminuyendo las pérdidas para el exterior), reduce el tamaño de los campos solares y los costos de inversión y manutención (JING, et al., 2010).

5.2.4.4 Calor residual de procesos industriales

En cualquier proceso termoquímico durante la combustión hay un calor residual que es generado y que es mayor parte de las veces rechazado, los procesos industriales, motores térmicos y equipamientos mecánicos producen grandes cantidades de calor residual. Este calor además del alto valor energético contiene también grandes cantidades de contaminantes responsables por el alto nivel de las concentraciones de gases con efecto invernadero y responsables por el calentamiento global como son el dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (NO_x) y óxidos de azufre (SO_x) (TCHANHE, 2011).

En países desarrollados este es un problema grave debido al elevado número de industrias en estos países, este es un problema que llevó a que estos países (los más industrializados del mundo) firmasen un protocolo (protocolo de Kyoto) con el objetivo de reducir las emisiones. Algunos de estos países como forma de control y reducción de emisión de estos gases evaluaron el potencial de recuperación del calor residual (Waste heat recovery) presentes en su territorio.

En algunas de las industrias, el potencial de recuperación del calor residual presenta un potencial alto, entre estas industrias esta por ejemplo la del cemento en el cual 40% del calor se pierde en los gases de escape estos gases se libentan en el precalentamiento del calcáreo y en la producción del Clinker en que la temperatura varía entre los 215 y 730 °C (TCHANCHE, 2011). Otras industrias también tienen un alto potencial de recuperación de calor como son las industrias del hierro, refinarías e industria química.

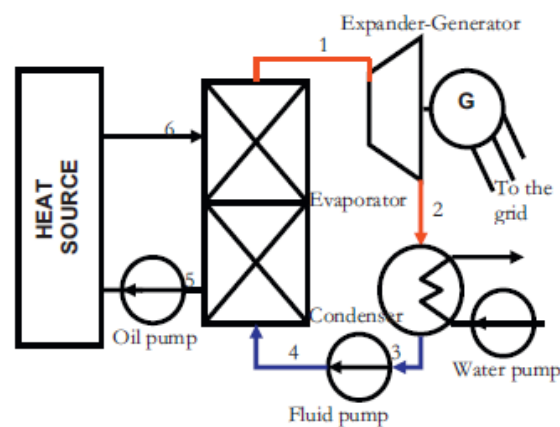


Figura 38. Principio de funcionamiento de un ORC para recuperación de calor residual industrial

Como en las otras fuentes anteriores, la temperatura de las fuentes de calor determina la eficiencia del proceso de recuperación. La preferencia por el ORC depende no solo de la temperatura de la fuente de calor pero también de la potencia de salida requerida.

Aunque tengan un potencial aceptable, esta tecnología por medio del ORC representa solamente entre 9-10% de las instalaciones de ORC en el mundo según (ENERTIME, 2015).

En la (figura 43) se muestra la distribución del aprovechamiento de las fuentes de calor utilizando el ciclo ORC.

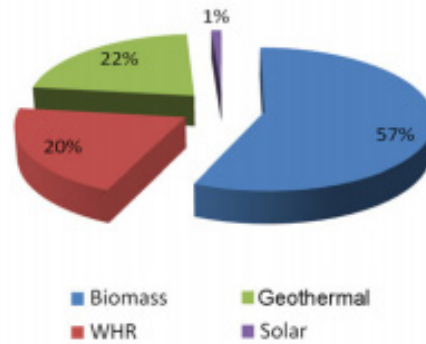


Figura 39. Participación de distintas fuentes de calor en plantas ORC (Quoilin et al., 2013)

5.2.5 Eficiencia

La eficiencia energética de un ORC es la relación entre la energía útil generada (energía eléctrica producida más la energía térmica producida) y el calor utilizado en el ciclo. Mientras que el rendimiento del ciclo es la relación entre el trabajo generado y el calor utilizado en el ciclo. El trabajo total es el trabajo generado por la turbina (\dot{W}_t) menos el trabajo consumido por la bomba (\dot{W}_b), y el calor utilizado es el calor absorbido en el evaporador (Q_e) por el fluido de trabajo, como es demostrado a continuación en la ecuación.

Ecuación 2. Rendimiento del ciclo

$$\eta_{th} = \frac{\dot{W}_t - \dot{W}_b}{Q_e}$$

En el sistema ORC la eficiencia puede llegar a un 98% (Energía eléctrica más térmicas + térmica útil/Calor). Los 2% son las pérdidas térmicas (aislamiento, y pérdidas en el generador eléctrico). El rendimiento eléctrico (energía eléctrica/calor) varía entre los 18 – 24% y la generación térmica está entre los 74 – 80% como muestra la (figura 43) (BINI & VISCUSO, Ca. 2013).

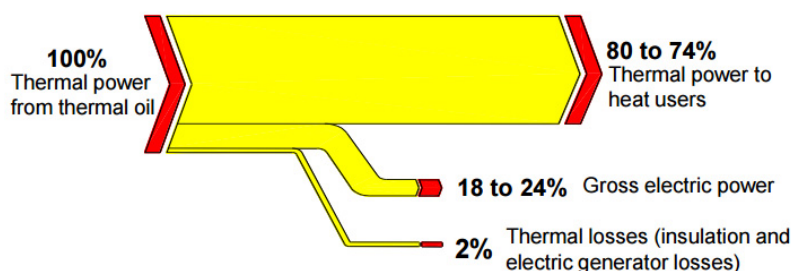


Figura 40. Diagrama de Sankey para la cogeneración con biomasa ORC (BINI & VISCUSO, Ca. 2013)

Hay algunas formas posibles de aumentar el rendimiento del ORC, como es el hecho de aumentar la diferencia entre las temperaturas de las fuentes calientes y frías; quedar más próximo posible de la expansión isentrópica y compresión o garantizando un mayor rendimiento de la bomba. Si se consigue ese rendimiento de la bomba, significa que la bomba será capaz de aumentar la presión del fluido antes del evaporador. Para demostrar como el rendimiento interno de la bomba influye sobre el rendimiento del sistema ORC, se muestra abajo en la figura 43 la gráfica con esta variación del rendimiento (ROWSHANZADEH, Ca.2012).

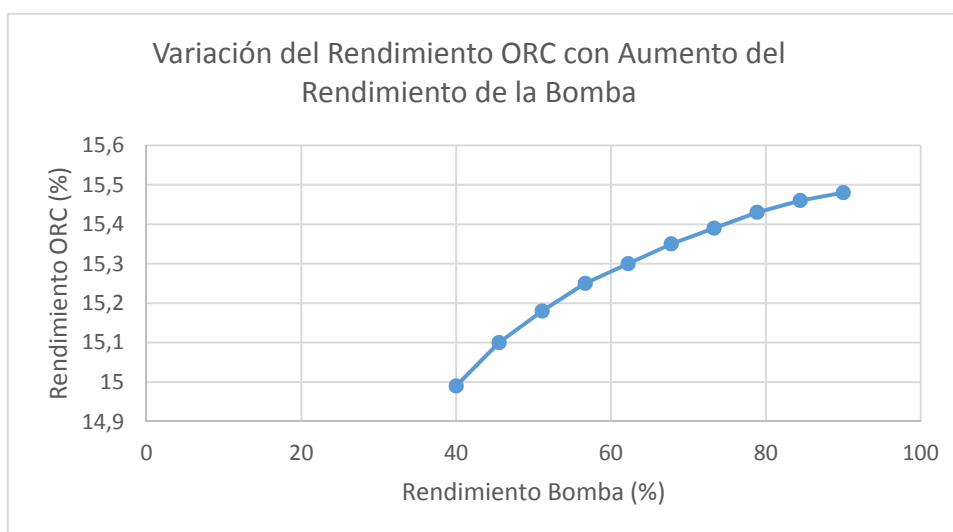


Figura 41. Efecto del rendimiento interno de la bomba sobre el rendimiento total del ORC

5.2.6 Aplicabilidad de la tecnología ORC

La aplicabilidad de la tecnología ORC varía con los parámetros de las fuentes de calor y las necesidades de generación de energía. El parámetro más importante en términos de influencia determinante en la elección de la tecnología es la temperatura de la fuente de calor. Típicamente el ciclo de Rankine convencional (ciclos de vapor) se utiliza para temperaturas superiores a 350 °C (GOEL, 2014).

El ORC es aplicable en muchos sectores industriales, en especial en aplicaciones de recuperación de calor residual, recuperación de los gases de escape de motores de combustión interna y turbina de gas y en las plantas de energías renovables. Para este estudio específico, solamente se hablará de las plantas de energías renovables.

Importante destacar que el rendimiento del sistema combinado (MCI +ORC) puede mejorar sustancialmente, aproximadamente 10% de energía eléctrica adicional con el mismo consumo de combustible (GOEL, 2014). La combinación (MCI +ORC) se trata de generación de energía eléctrica a partir de transformaciones de energía térmica en electricidad mediante dos ciclos consecutivos. Es acoplado el ciclo ORC al MCI como forma de aumentar el rendimiento de la instalación, ya que se obtiene la energía eléctrica en dos etapas, logrando así mayor aprovechamiento de la energía del combustible. El ORC recupera los gases de escape del motor de combustión interna, esta optimización se hace con el fin de recuperar la mayor energía posible de los gases de escape.

Como dicho anteriormente, la tecnología ORC se integra de forma adecuada en plantas de energía renovables, como por ejemplo en las plantas solares, de geotermia y unidades de biomasa. En los últimos tiempos se viene constatando un crecimiento de esta tecnología en las plantas solares, debido a que los colectores solares trabajan con rangos de temperaturas del orden de 300 a 400 °C y durante mucho tiempo esta tecnología estaba relacionada con el ciclo tradicional de Rankine para la generación de energía. Debido al hecho de que el ciclo tradicional de Rankine trabaja con temperaturas muy elevadas y por lo tanto con potencias altas para que sea rentable. En aplicaciones de temperaturas más bajas, se viene optando por sistemas ORC que trabajan de forma adecuada en periodos de baja radiación solar, módulos más pequeños y buena eficiencia a temperaturas bajas.

La energía geotérmica está disponible en algunos puntos de la tierra y tiene un rango de temperatura bastante variado, lo que ofrece opción a la hora de escoger la mejor tecnología a aplicar teniendo en cuenta siempre el rendimiento y rentabilidad del proyecto.

En el caso de la aplicación del ORC en plantas de biomasa, se usa preferiblemente debido a la baja presión de operación.

En la (figura 46) viene discriminada el rango de temperatura aplicable a diferentes tipos de tecnologías de ORC.

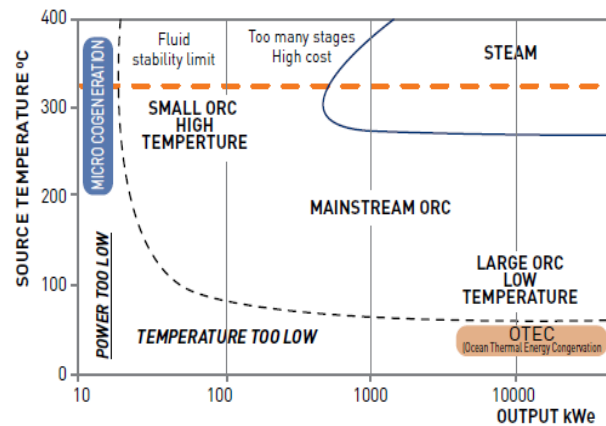


Figura 42. Tecnología para diferentes fuentes de calor residual (GOEL, 2014).

5.2.7 Fabricantes

Muchas son las empresas que se dedican en fabricar el sistema ORC y vienen desarrollando técnicas y mecanismos para aumentar la eficiencia del sistema. Para los sistemas basados en el aprovechamiento del calor a partir de biomasa, podemos destacar de entre muchas, las empresas ENERTIME, TURBODEN y LANCEA. Estas empresas son líderes en el desarrollo y producción de ORC, no centrandose únicamente en cogeneración con biomasa sino también en otras aplicaciones renovables de generación de energía como son: recuperación de calor residual, geotermia, conversión solar termodinámica.

ENERTIME es una empresa francesa muy joven que apenas fue creada en 2008. Es una empresa que concibe, desarrolla y pone en marcha módulos de ORCs para la producción de energía renovable, esta empresa desarrolla también la actividad de asesoramiento en las energías renovables.

En Francia, en la ciudad de Montpellier, la empresa ENERTIME cuenta con una planta con capacidad de 600 kW en el módulo ORSHID Cogen, genera la electricidad gracias a una caldera alimentada por biomasa local. Es una planta de regeneración que suministra constantemente electricidad, la calefacción y/o la climatización necesaria en todas las actividades del barrio Port-Marie únicamente con recursos renovables. El módulo ORSHID Cogen utiliza un fluido no tóxico y no inflamable perfectamente adaptado a la integración urbana.

TURBODEN, empresa italiana fundada en 1980 por Mario Gaia, un profesor de energía en la universidad de Milán con el objetivo de desarrollar ORCs para la producción de calor y energía eléctrica a partir de fuentes renovables.

En términos de referencia, la empresa tiene en España, en Aranga – La Coruña, una planta (modelo TURBODEN 6 CHP Split) reciente (2014), con biomasa proveniente de la industria maderera y con una potencia de 600 kW.

Lancea es una empresa española que ofrece servicios de ingeniería y asesoramiento llave en mano en el ámbito energético con instalaciones de sistemas de producción de electricidad a partir de fuentes renovables.

Como referencia, entre muchos proyectos seleccionamos como referencia uno que es similar al proyecto en estudio. Tratase de un equipo de cogeneración en industria maderera con una potencia eléctrica generada con ORC: 600 kW, fue puesta en marcha en 2012.

6 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN

En este apartado, con objetivo de seleccionar la mejor tecnología de entre las dos mencionadas anteriormente, se hizo una comparación entre las tecnologías, poniendo siempre las necesidades de la isla de Príncipe en destaque. Mediante las ventajas y desventajas de cada una, se buscó la que mejor se encuadra con la realidad de príncipe no olvidando nunca las cuestiones ambientales.

Como se ha dicho anteriormente, los dos sistemas de conversión son iguales en su objetivo final, la producción de energía eléctrica y calor a partir de biomasa, pero, en sus procesos de conversión cada uno de ellos tiene sus puntos fuertes y menos fuertes, de los cuales se ha aprovechado para definir el mejor para lo que se pretende.

6.1 Diferencias técnicas

Una de las primeras diferencias es el hecho de que el sistema de gasificación precisa de cerca de 30-40% más de biomasa para atingir la misma producción de calor (ROWSHANZADEH, Ca.2012).

La gasificación en plantas de cogeneración viene teniendo buenas críticas debido a su alto potencial de rendimiento eléctrico en comparación con el sistema de combustión convencional pero, el inconveniente reside en la presencia de alquitranes y compuestos inorgánicos (metales pesados) en el gas de síntesis producido que obliga a una limpieza del gas, parte crítica (técnica y económicamente) de una planta de gasificación y que representa uno de los principales obstáculos de desarrollo de esta tecnología (FRIGO, 2014).

Pequeñas plantas comerciales de gasificación (en torno a 100 kWe) con el sistema down-draft (lecho fijo), tienden a producir bajos niveles de alquitranes, pero requieren biomasa con requisitos estrictos (baja humedad, homogéneos de los tamaños).

Entre las tecnologías de utilizadas para la generación de energía a partir de biomasa, el sistema ORC asegura buenas eficiencias de conversión especialmente en rangos de potencia menores o igual a 1MW (Quoilin at al., 2013), también por ser una tecnología apropiada para aplicaciones descentralizadas (RENTIZELAS, 2009).

El sistema ORC es menos restrictivo en términos de la calidad de biomasa que la gasificación debido a que en el ORC se usa una caldera y no un gasificador que requiere biomasa de calidad óptima, lo que aumenta el coste de tratamiento de la biomasa en esta tecnología alrededor de un 40%.

Aunque la gasificación es una tecnología muy antigua, los sistemas ORC se están imponiendo en el mercado debido a la fiabilidad, sencillez, y seguridad en la operación, además de requerir poco mantenimiento (menos de la mitad en comparación con la gasificación) (ROWSHANZADEH, Ca.2012). Actualmente a nivel mundial, hay en funcionamiento más plantas ORC que de gasificación. Lo que proporciona un mayor conocimiento de esta tecnología.

El costo de operación y mantenimiento del OCR es la mitad del que requiere el basado en la gasificación. Los procesos de mantenimiento en la gasificación son operaciones con más riesgo asociado para los operarios y una necesidad de inspección permanente.

La tasa de retorno en el sistema OCR es de cerca de 20% menos y un 25% más de tiempo para la recuperación en comparación con el sistema basado en la gasificación (ROWSHANZADEH, Ca.2012), como demuestra la (figura 46).

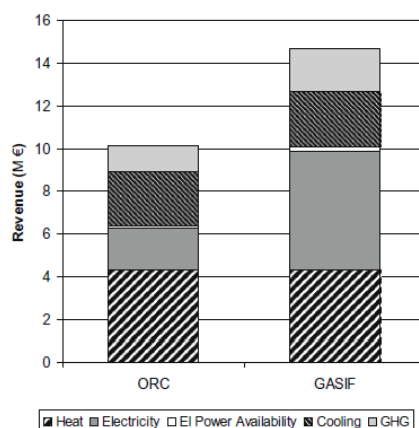


Figura 43. Comparación Retorno de la inversión entre el ORC y gasificación (RENTIZELAS, 2009)

En la misma línea de idea, el coste inicial en la gasificación es más alto en comparación con el OCR (RENTIZELAS, 2009).

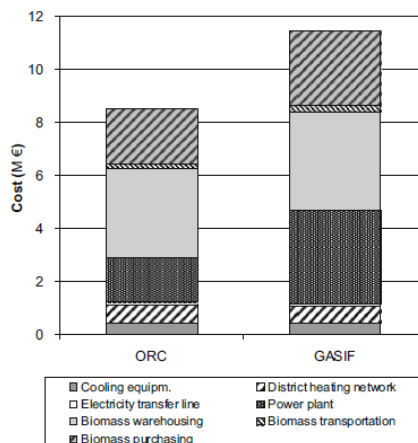


Figura 44. Comparación de los costes de la inversión inicial entre el ORC y gasificación (RENTIZELAS, 2009)

En términos técnicos, el sistema ORC ofrece mejores garantías. Dado que la isla de Príncipe tiene un déficit de generación eléctrica, y teniendo en cuenta los datos anteriores, en términos económicos el sistema ORC es más atractivo, con costes inversión, operación y mantenimientos menores y un tiempo de instalación menor que la gasificación (RENTIZELAS, 2009).

Teniendo en cuenta todo lo anterior y la situación de la isla de príncipe en términos de necesidad eléctrica, poca disponibilidad financiera y garantías tanto a niveles de experiencia comprobada del sistema y garantías ambientales, se ha tomado la decisión de escoger la tecnología ORC en función de sus ventajas que se encuadran mejor a las especificaciones de la isla de Príncipe. Se instalará una planta de cogeneración a partir de biomasa.

7. DESCRICION DEL SISTEMA

El sistema propuesto será un sistema de cogeneración ORC con un fluido de trabajo calentado por el aceite térmico.

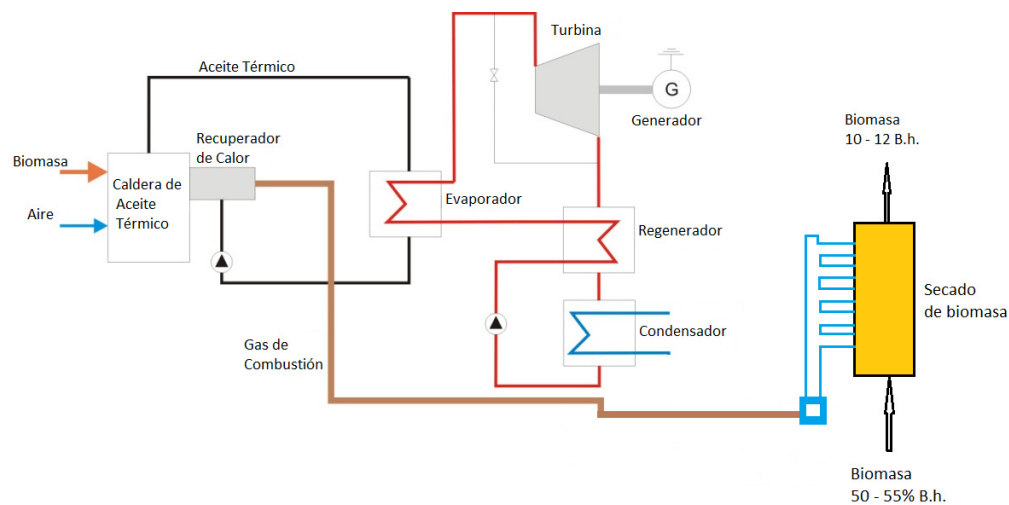


Figura 45. Esquema de la planta ORC propuesta

Como dispuesto en la (figura 48), será un sistema de cogeneración en que la energía producida por la combustión de la biomasa en la caldera de aceite térmico se trasfiere al aceite térmico y a partir de este, para el ciclo ORC y por otra parte, los gases de combustión a la salida de la caldera se utilizan para el secado de biomasa. El fluido de trabajo orgánico a presión se vaporizará y sobrecalentará en el evaporador a partir de la energía suministrada por el aceite térmico. El vapor se expandirá en una turbina que estará directamente conectada a un generador que producirá energía eléctrica. Posteriormente, el fluido orgánico expandido pasará a través de un regenerador antes de ingresar en el condensador. La condensación del fluido de trabajo se llevará a cabo a la mínima temperatura que permite las condiciones medioambientales para hacer máximo el rendimiento del ciclo ORC. El fluido de trabajo pasará de seguida por las bombas con la finalidad de recuperar el nivel de presión adecuado en el extremo caliente del ciclo, pasando antes por el regenerador para ingresar al evaporador.

El gas de combustión en la salida de la caldera de aceite térmico es utilizado para el proceso de secado de biomasa, con lo que se conforma como un sistema de cogeneración.

7.1 Componentes del sistema

Como visto en la descripción del sistema, el ciclo estará compuesto por los siguientes equipos: una la caldera de aceite térmico con recuperador, evaporador, turbina, generador, regenerador y condensador, secadero y el fluido orgánico y aceite térmico.

7.1.1 Caldera

El aparato a presión diseñada para quemar un combustible (biomasa) de forma a generar energía térmica suficiente para intercambiar con el aceite térmico (fluido caloportador) que circula en las tuberías. Este fluido transmitirá por su lado el calor a un fluido orgánico (fluido de trabajo) para que este se convierta en vapor.

Las calderas constructivamente están formadas por la carcasa o casco y por los haces de tubos cambiadores de calor. Para evitar la corrosión, parte del tubo es de cobre o acero inoxidable y parte del casco es cilíndrica para aumentar el área de transferencia de calor. Es un equipo que utiliza la combustión para extraer la energía inherente de la biomasa para la producción de electricidad o calefacción, son parte fundamental de las centrales termoeléctricas a biomasa.

En términos generales, hay dos tipos de calderas, en función del paso del fluido caloportador por los tubos de intercambio, se tiene: acuotubulares y las piro tubulares:

I. Las Acuotubulares

Aquellas en que el fluido de trabajo circula dentro de los tubos durante su calentamiento y los gases de escape por el exterior. Son las más utilizadas en las centrales de alta potencia, visto que permiten altas presiones de salida y gran capacidad de generación.

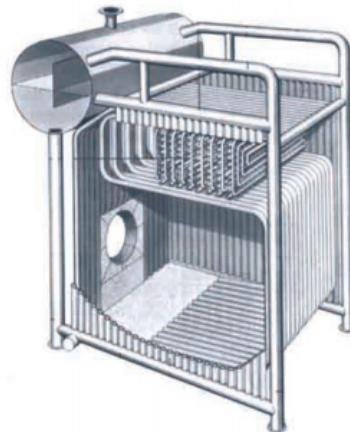


Figura 46. Detalle de una caldera acuotubular

II. Las Piro tubulares

En estas, el fluido de trabajo en estado líquido se encuentra en un recipiente que es atravesado por tubos en los cuales circulan los gases producto del proceso de combustión.

Debido al principio de diseño, esas calderas no pueden conseguir producciones tan grandes ni parámetros de vapor tan extremos como las calderas acuotubulares. Son calderas que siguen siendo hoy, objetos de estudio por parte de los fabricantes (FRANZ, Ca. 2015).

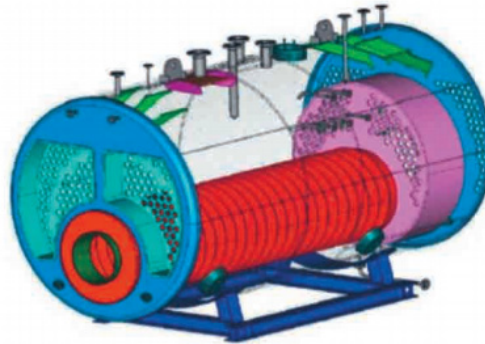


Figura 47. Detalle de una caldera pirotubular

Las calderas pirotubulares, en términos de relación de capacidad térmica con el tamaño, son mejores, porque normalmente estas calderas requieren menor espacio para similares capacidades. Esto también se verifica cuando el asunto es mantenimiento, en las pirotubulares este proceso es más fácil en comparación con la acuotubulares, debido a factores como el fácil acceso a las superficies de calefacción y esfuerzos menores durante la puesta en marcha y paro, y posibilidad de mantenimiento fácil durante el funcionamiento.

Las calderas pirotubulares se clasifican en función de la disposición del haz tubular (calderas horizontales y verticales) y en función del número de paso de gases (calderas de dos pasos de gases y tres pasos de gases) (Comunidad de Madrid, Ca.2012)

Las calderas acuotubulares y pirotubulares tienen sus aplicaciones definidas. Es imposible usar calderas pirotubulares para generar 1000 t/h de vapor a 180 bares y 450 °C. Hasta una producción de aproximadamente 200 t/h de vapor, a 30 bares y 300 °C, la mejor elección es una caldera pirotubular (FRANZ, Ca. 2015), debido al hecho de que son más económicas en la adquisición y mantenimiento.

Las calderas son equipos diseñados para quemar un combustible sea sólido líquido o gaseoso, calentando el fluido:

- 95 °C (Caldera de agua caliente)
- Más de 100 °C (Calderas agua sobrecalentada)
- Calentando agua hasta proporcionar su cambio de estado de líquido a vapor (Calderas de vapor)

- Calentando un fluido caloportador diferente del agua (calderas de fluido térmico)

Las calderas en que el fluido caloportador es un fluido térmico, pueden ser únicamente calderas acuoturbulares (Comunidad de Madrid, Ca.2012).

7.1.1.1 Aceite térmico

El aceite térmico es el fluido responsable por transportar el calor de la caldera hasta el fluido de trabajo del ORC. El aceite térmico (fluido caloportador) pasará primeramente por el Recuperador donde será precalentado mediante el intercambio de calor con los gases de combustión saliente de la caldera. Los gases de combustión de la caldera serán depurados en filtro, precipitando las partículas que son transportadas por el dicho gas antes de que entren en el sistema de secado. Las partículas retenidas en el filtro junto a las cenizas de la combustión, serán conducidas al cenicero y posteriormente transportadas o almacenadas con el fin de ser utilizados como fertilizantes en la agricultura local. El gas de combustión se usará para el secado de la biomasa como muestra el esquema anterior.

Son aceites especiales que se utilizan por las capacidades de mantenerse líquido y estable a altas temperaturas, entre 150 y 400 °C (Northern Innovation, 2010) trabajando a presiones bajas. Otra de las características importantes que deben tener los aceites térmicos es una buena resistencia a la oxidación.

Los aceites térmicos, son aceites con derivación mineral producidos con bases directamente de la destilación del petróleo con ligeras modificaciones o sintéticos que son producidos con la misma base, pero que posteriormente son sometidas a transformaciones físico-químicas que los hacen más resistentes al calor. También existen los semi-sintéticos que son la mezcla de los dos (PIROBLOC -Efficient heating, 2015).

Los aceites térmicos en condiciones normales tienen una vida útil de aproximadamente 3 a 5 años, normalmente los que soportan temperaturas más altas son los que tienen una vida útil mayor, la vida útil depende directamente de la correcta utilización y un buen diseño del sistema. Los aceites térmicos no son compatibles entre sí por lo que no pueden ser mezclarlos para la utilización.

Existen en el mercado una vasta gama de empresas y aceites distintos que se muestra a continuación en la (tabla 12)

Tabla 11. Aceites térmicos más comunes

MARCA	Temperatura Máxima Recomendable °C	Temperatura Máxima Recomendable por los Fabricante °C
Therminol 55	357	315
Therminol 66	373	332
Therminol VP1	426	385
Dowtherm A	440	401
Dowtherm G-40	385	346
Dowtherm E	500	461
Mobiltherm 603	329	290
Marlotherm S	370	329

Adaptado de: (CALDERAS powermaster, 2015)

Un fluido adecuado a este proyecto es el Therminol 55 de la empresa THERMINOL en que las características principales vienen descritas en el (anexo 2)

7.1.2 Evaporador

Es un intercambiador de calor donde se intercambia calor entre el fluido caloportador (en este caso aceite térmico) y el fluido orgánico, así, el fluido orgánico que se encuentra en estado líquido se convierte en vapor, por haber absorbido el calor. El evaporador se posiciona antes de la turbina.

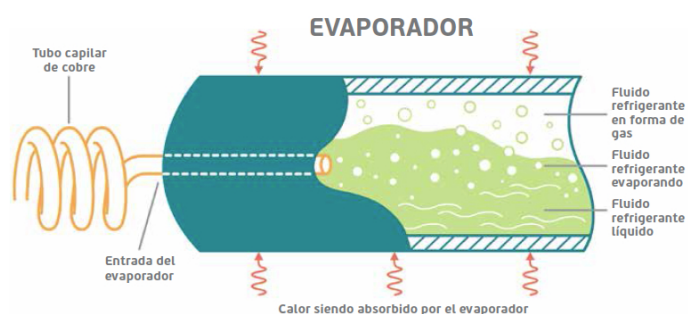


Figura 48. Evaporador

7.1.3 Condensador

Es un cambiador de calor que convierte el vapor saliente de la turbina a presión constante, en líquido saturado, está posicionado a la salida de la turbina, está allí posicionado para que se obtenga una mayor eficiencia enviando de regreso a la caldera. Para la condensación del vapor, se hace pasar agua fría (líquido refrigerante) por un haz tubular del condensador, a

una temperatura menor que la temperatura de saturación. El vapor de refrigerante al entrar en contacto con los tubos fríos se condensa.

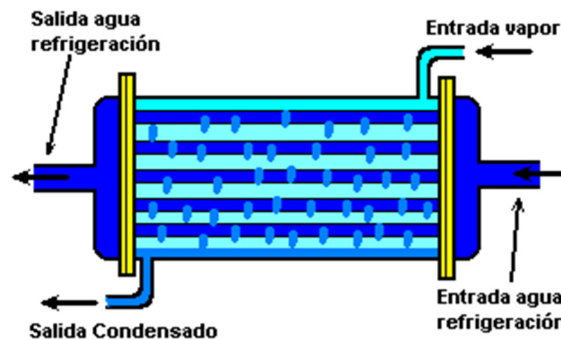


Figura 49. Condensador

7.1.4 Máquina de expansión

Dispositivo termodinámico que se caracteriza por convertir la energía térmica de un fluido en energía en un trabajo útil mecánico, ampliamente usado en los sistemas de generación de energía. Su funcionamiento se basa en la introducción del vapor a una determinada temperatura y presión que consecuentemente hará girar los álabes unidos a un eje rotor. El vapor saliente tendrá una presión y temperatura inferior al entrante. Todo el sistema OCR está directamente relacionado con el rendimiento de la máquina de expansión. Para aplicaciones de baja temperatura, la elección de la maquina depende principalmente de las dimensiones y de las condiciones de operación del sistema. Para trabajar En estas condiciones hay dos tipos de máquinas de expansión: el turbo (turbinas) y el de desplazamiento positivo (positive displacement). Lo que más se adecua a proyecto de este tipo (ORC de pequeña escala) es el de desplazamiento positivo (positive displacement) debido a sus características, de los cuales se destacan menores flujos máscicos, índices más elevados de presión, velocidad de rotación mucho más bajas, toleran mejor las fases liquidas durante la expansión, exhiben una buena efectividad (PIRES PÉREZ, et al., 2015). Otra de las ventajas es el hecho de que en términos de arquitectura son más simples cuando comparadas a otros tipos y su menor coste ya que en muchas ocasiones derivan de compresores HVAC (del inglés heating, ventilation and air conditioning) producciones en serie de bajo coste (LEMORT, et al., 2013). Son constituidas por dos tornillos helicoidales que si engranan entre sí en el interior de una carcasa con espaciamentos tolerantes bastante reducido, del orden de 0,005 mm (COGEN-PORTUGAL, 2011). El fluido se mueve entre los tornillos rellorando el espacio entre ellos, haciendo girar los mismos trasformando la energía de la presión en trabajo mecánico.

Las máquinas de expansión del tipo turbo están divididas en dos grandes grupos: las turbinas axiales y las radiales (convencionales). Las turbinas axiales a contrario de las máquinas de desplazamiento positivo, son adecuadas a sistemas con alto flujo másico, y operan con fluidos de elevado peso molecular y baja diferencia de presión. En sistemas ORC operan en sistemas de baja o media temperatura.

Las turbinas radiales operan en condiciones de presión alta, bajo flujo másico, debido a su geometría, permiten una mayor caída de entalpia para cada etapa de expansión (QUOILIN & LEMORT, 2011).

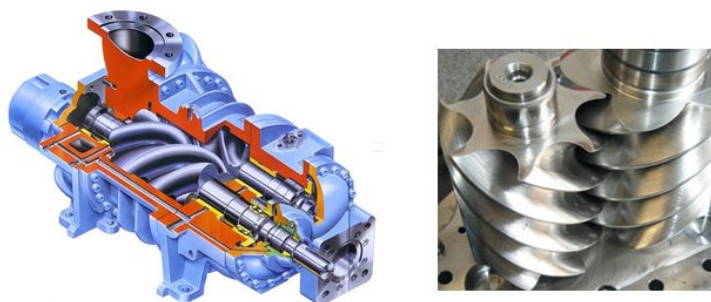


Figura 50. Expansores (desplazamiento positivo)

7.1.5 Regenerador

Es un equipo que incorpora los ciclos regenerativos integrando las nuevas configuraciones del ORC para aumentar la eficiencia energética producida, recuperando el calor saliente de la turbina y reinyectando en el ciclo, permitiendo reducir la cantidad de calor necesaria para la vaporización del fluido de trabajo, mejorando el aprovechamiento energético de la planta y aumentando el rendimiento. En definitiva se trata de producir el máximo trabajo posible a partir de un calor residual, no de diseñar un ciclo de máximo rendimiento.

7.1.6 Bomba

A la salida del condensador, el fluido de trabajo (líquido saturado) necesita estar a la presión deseada para que consiga recircular dentro del circuito, para ello se utiliza una bomba de condensado. La bomba recibe el líquido condensado a baja presión y temperatura, típicamente a una presión menor a la atmosférica y lo comprime hasta la presión de la caldera. Es un equipo clave en el ciclo, pues es el único dispositivo en el que si hubiese una falla, el proceso no podría continuar (DIDDION & HI, 1992).

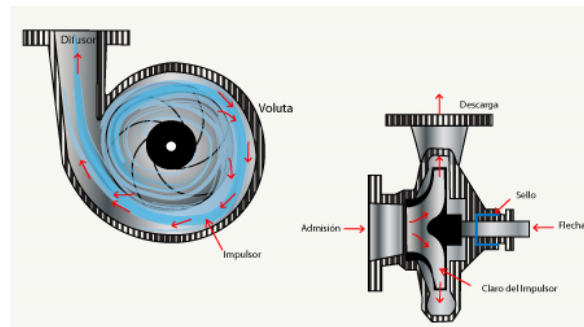


Figura 51. Bomba

7.1.7 Sistemas auxiliares

En este sistema están incluido las toberas, sistemas de instrumentación y control, panel de control en línea y unos mecanismos de alimentación eléctrica (para ser conectado al sistema de transmisión eléctrica).

- **Sistemas de monitorización**

Están hechos sobre todo por softwares en línea pudiendo ser encendido y apagado fácilmente por sistemas en línea.

7.2 Modelo matemático

Para la simulación del desempeño del ciclo se asumió que el sistema funciona en régimen permanente y que las pérdidas de presión en los tubos y pérdidas de calor hacia el ambiente en los condensadores, evaporadores turbinas y bombas serán despreciables. Las irreversibilidades que existen en los procesos termodinámicos, como por ejemplo expansión no-isentrópica y compresión no-isentropica, obliga a la introducción del concepto de rendimiento ientrópico de los equipos para que el rendimiento del ciclo sea más preciso.

Afín de conocer mejor el sistema es necesario que se identifique y cuantifique las formas de energía y flujo de masa. Con el balance de masa y de energía (derivación de la primera ley de termodinámica), se hace posible determinar la potencia mecánica producida por la turbina o expansor, potencia consumida por la bomba, calor absorbido por el evaporador y calor libertado por el condensador. Se asume que la energía que entra es positiva y la que sale es negativa, por convención.

Se presentaran también fórmulas que serán necesarias para los restantes cálculos del ciclo.

Cada proceso será descrito como se representa en la (figura 54).

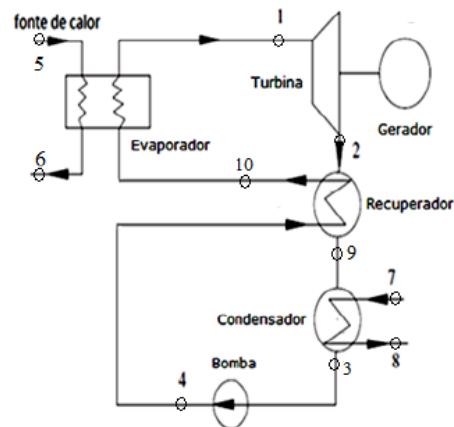


Figura 52. Esquema del ORC regenerativo

De forma general, para un sistema abierto en estado estable, las ecuaciones de conservación de masa y de energía son respectivamente:

Ecuación 3. Conservación de masa y energía

$$\sum \dot{m}_e = \sum \dot{m}_s$$

$$Q - \dot{w} = \sum \dot{m}_e h_e - \sum \dot{m}_s h_s$$

Donde \dot{m}_e e \dot{m}_s representan el flujo másico a la entrada y salida del sistema en kg/s, el Q e \dot{w} representan la potencia calorífica y el trabajo en kW, el h_e y h_s representan las entalpías a la entrada y salida del sistema en kJ/kg.

- **Evaporador**

El proceso 10 para 1 - Proceso a presión constante de absorción de calor en el evaporador por parte del fluido orgánico a partir de la fuente caliente de calor. El calor absorbido es:

Ecuación 4. Calor absorbido por el fluido en el evaporador

$$Q_e = \dot{m} \cdot (h_1 - h_{10}) = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_5 - T_6)$$

Donde:

\dot{m} = Flujo másico del fluido de trabajo (kg/s)

Q_e - Calor absorbido por el fluido en el evaporador (kW)

h_{10} - Entalpia en la entrada del evaporador (kJ/kg)

h_1 - Entalpia en la salida del evaporador (kJ/kg)

\dot{m}_{at} – Flujo másico del aceite térmico (kg/s)

C_p - calor específico del aceite térmico (kJ/kg.K)

T_5 – Temperatura de entrada del aceite térmico (K)

T_6 - Temperatura de salida del aceite térmico (K)

- **Turbina o expansor**

El proceso 1 para 2 - Dentro del expansor o turbina, parte la energía térmica del fluido orgánico de trabajo se transforma en energía mecánica. Este proceso de expansión, de forma ideal es un proceso isoentrópico, por lo que la expansión real se expresa definiendo el rendimiento isentrópico como sigue:

Ecuación 5. Rendimiento de la turbina

$$\eta_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}}$$

Ecuación 6. Trabajo generado por la turbina

$$W_T = h_1 - h_2$$

Donde:

η_t – Rendimiento de la turbina (kW)

W_T – Trabajo generado en la turbina (kJ/kg)

\dot{m} – flujo de masa del ciclo (kg/s)

h_1 – Entalpia en la entrada da turbina (kJ/kg)

h_2 – Entalpia en la salida da turbina (kJ/kg)

h_{2s} - Entalpia en la salida de la turbina cuando la expansión es isoentrópica o ideal (kJ/kg)

- **Regenerador**

El proceso en el regenerador – proceso que permite al fluido ganar más calor antes de ingresar en el evaporador permitiendo reducir la cantidad de energía necesaria para la vaporización del fluido orgánico.

Ecuación 7. Rendimiento del regenerador

$$\eta_{Reg.} = \frac{h_{10} - h_4}{h_2 - h_9}$$

Donde $T_8 \geq T_9 + 10K$

Donde:

h_4 - Entalpia de entrada al regenerador (kJ/kg)

h_{10} - Entalpia de salida del regenerador (kJ/kg)

h_2 - Entalpia de entrada al condensador (kJ/kg)

h_9 - Entalpia de salida del condensador (kJ/kg)

- **Condensador**

Proceso 9 para 3 – El proceso de rechazo del calor en el condensador a presión constante. El calor rechazado es:

Ecuación 8. Calor rechazado por el condensador

$$Q_c = \dot{m}_v \cdot (h_9 - h_3) = \dot{m}_a \cdot c_{p_a} \cdot (T_8 - T_7)$$

Donde:

\dot{m} = Flujo de másico de fluido orgánico

Q_c – Calor rechazado por el condensador (kW)

h_9 – Entalpia del fluido orgánico en la entrada del condensador (kJ/kg)

h_3 – Entalpia del fluido orgánico en la salida del condensador (kJ/kg)

\dot{m}_a = Caudal másico de agua de refrigeración (kg/s)

c_{p_a} – poder calorífico del agua líquida (kJ/kg.K)

T_8 – Temperatura del agua de refrigeración a la salida del condensador (K)

T_7 – Temperatura del agua de refrigeración a la entrada al condensador (K)

- **Bomba**

Proceso 3 para 4 – el proceso de compresión del fluido orgánico en la bomba. La potencia consumida por la bomba viene dado por:

Ecuación 9. Potencia de la bomba

$$\dot{W}_b = \dot{m} (h_4 - h_3)$$

Ecuación 10. Rendimiento de la bomba

$$\eta_b = \frac{v \cdot (p_4 - p_3)}{h_2 - h_1}$$

Donde:

\dot{m} = Flujo másico de fluido refrigerante

h_3 – Entalpía en la entrada de la bomba (kJ/kg)

h_4 – Entalpía en la salida de la bomba (kJ/kg)

v – volumen específico a la entrada de la bomba

p_4 – presión a la salida de la bomba

p_3 – presión a la entrada de la bomba

- **Contenido de humedad de la biomasa**

La mayoría de los materiales está constituido por materia seca y agua, se puede establecer que la masa total (m_h) del material es igual a la suma de su masa seca (m_s) y de su masa de agua (m_{H_2O}).

Ecuación 11. Contenido de humedad de la biomasa

$$m_h = m_s + m_{H_2O}$$

- **Porcentaje de humedad de la biomasa en base seca**

Es el cociente entre la masa de agua en el material y su masa seca, se conoce como humedad en base seca, como se muestra en la siguiente ecuación.

Ecuación 12. Porcentaje de humedad de la biomasa en base seca

$$\%H_{bs} = \frac{m_{H_2O}}{m_s} * 100$$

- **Porcentaje de humedad de la biomasa en base húmeda**

El cociente entre la masa de agua dentro del material y su masa total, aquí el contenido de humedad representa el porcentaje de masa de agua que contiene la muestra respecto a su masa total.

Ecuación 13. Porcentaje de humedad en base húmeda

$$\%Hbh = \frac{mH_2O}{mh} * 100$$

Donde:

mh: masa total

ms: masa seca

mH₂O: masa de agua

Hbs: Humedad en base seca

Hbh: Humedad en base húmeda

- **Consumo de biomasa**

Estimación del consumo de biomasa

➤ **Biomasa seca**

Si la biomasa entra al proceso de combustión completamente seca, el consumo de biomasa es igual a:

Ecuación 14. Rendimiento total de la instalación

$$\eta(\text{total instalación}) = \eta \text{ Caldera } a. t \times \eta \text{ Caldera } r. c \times \eta \text{ ORC } \times \eta \text{ el.}$$

Donde:

a.t: aceite térmico

r.c: recuperador de calor

el: eléctrico

Ecuación 15. Consumo de biomasa seca

$$\dot{m}f(s) = \frac{\text{potencia eléctrica}}{\eta(\text{total instalación}) * PCI (s)}$$

Donde el PCI (s) es el poder calorífico inferior de la biomasa cuando está completamente seca y η (total instalación) es el rendimiento total de la instalación.

➤ **Biomasa húmeda**

Cuando la biomasa entra en combustión con cierto porcentaje de humedad, se debe corregir primeramente el PCI, puesto que la humedad contenida en la biomasa al entrar en el proceso de combustión entra en fase líquida y hay que vaporizarla. Así:

Ecuación 16. PCI húmedo

$$PCIh \left(\frac{kJ}{kgh} \right) = \left[PCI_s \left(\frac{kJ}{kgs} \right) - 2500 \frac{kJ}{kgH_2O} * \frac{\%Hbs}{100} \left(\frac{kgH_2O}{kgs} \right) \right] * \left(\frac{1}{1 + \frac{\%Hbs}{100}} \right)$$

Ecuación 17. Consumo de biomasa húmeda

$$\dot{m}f (h) = \frac{500 kW}{\eta(\text{total instalación}) * PCI (h)}$$

Donde:

PCIh: Poder calorífico inferior de la biomasa húmeda

η : Rendimiento de la instalación

$\dot{m}f (h)$: Consumo de combustible con un contenido de humedad (biomasa)

Hbs: Humedad en base seca

Hbh: Humedad en base húmeda

2500: calor latente del agua en kJ/kg

8 DIMIENCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE LA PLANTA – ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO

Como ya comentado, la planta de producción de energía eléctrica a partir de biomasa se instalará en la isla de príncipe, para suplir todas las necesidades energéticas de la propia isla. La electricidad será introducida en la red eléctrica de príncipe y administrada por la empresa nacional de electricidad EMAE. En este apartado se hará el dimensionamiento de la planta de cogeneración mediante el ORC a instalar en la isla de Príncipe (RDSTP).

8.1 Bases de diseño

Para efectuar el dimensionamiento del ciclo de la planta, es necesario imponer unos valores de diseño, valores estos que son concebidos por experiencia, requerimientos del equipo o por leyes y normativas.

➤ Elección de la potencia máxima

El primero valor a ser elegido es el valor de la potencia máxima que tendrá la planta. De acuerdo a las necesidades energéticas de la isla, las debilidades que tiene el país en procesos de generación de energía a partir de fuentes renovables, ser el primer proyecto con estas características y para una población de poco más de 7 000 personas (isla de Príncipe) son algunos de los motivos principales para que se fije un valor de potencia a instalar.

A partir de valores del site *index mundi* (Index Mundi, 2015) Se puede hacer comparaciones entre el consumo actual de STP con países semejantes (islas, números de habitantes y superficie) y con algunos países de la región. Como se puede demostrar en la (gráfica 56), en el año 2014 el consumo de electricidad per cápita en STP fue de tan solo 146,51 kWh/año.habitante, el pico del consumo de electricidad en STP se produjo en el año 2012 con máximo de 208,16 kWh/año.habitante.

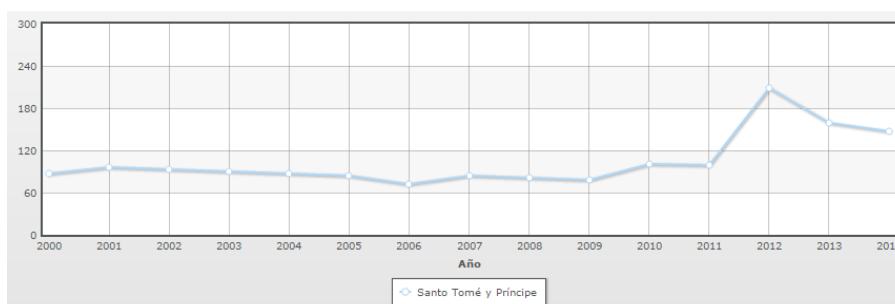


Figura 53. Consumo de electricidad per cápita en STP

Mediante estos valores y con los datos poblacionales del censo general de la población de 2012 para las Islas de Santo Tomé y Príncipe (179 200 habitantes), se ha calculado el consumo

bruto para el año de 2014 fue de 26 255 kWh/año, Siendo que dentro de este consumo, 1 026 MWh/año son referentes a la isla de Príncipe.

La comparación de consumos de electricidad con otros países semejantes y países de la región del golfo de guinea, se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 12. Tabla comparativa de consumos de electricidad

Comparación del consumo de electricidad con países semejantes					
País	Área total (Km ²)	Población total	Densidad poblacional (hab/km)	Consumo de electricidad Per cápita (kWh/año. Habitante)	Consumo Bruto de electricidad (MWh/año)
<i>Santo Tomé y Príncipe</i>	1 001	179 200	170	146,51	26 255
<i>Santa Lucía</i>	616	166 529	260	2 037,81	339 354
<i>San Vicente y la Granadinas</i>	389	109 991	264	1 229,13	135 193
<i>Samoa</i>	2 831	187 820	68,34	568,59	106 792
<i>Seychelles</i>	457	90 945	180	2 871,8	261 175
<i>Barbados</i>	441	277 821	642	3 307,65	918 934
<i>Polinesia Francesa</i>	4167	268 207	65,81	2 231,94	598 621
Comparación del consumo de electricidad con países de la región					
<i>Guinea Ecuatorial</i>	28 051	1 222 442	43,57	124,9	152 683
<i>Gabón</i>	267 667	1 802 278	6	862,13	1 553 797
<i>Nigeria</i>	923 768	1,74E+08	160,52	115,04	20 016 960
<i>Camerún</i>	475,44	21 917 602	34	223,99	4 909 323

En términos comparativos se nota que entre los países con características semejantes, STP es el que tiene un consumo más bajo, en algunos casos tiene un consumo más bajo en comparación con países aun menores en área y población, como son casos de Santa Lucía y San Vicente y Granadinas.

En comparación con los países de la región, se observa que junto con Nigeria, STP es uno de los países con menor consumo de energía per cápita, lo que demuestra un grado de subdesarrollo importante.

Con estos consumos y puesto que Príncipe es un país con aspiraciones turísticas muy altas, hay una necesidad imperiosa de aumentar las potencias instaladas porque es allí que reside el problema. Es importante tener en cuenta que STP no tiene energía las 24h del día y que hay poblaciones rurales sin energía eléctrica.

Por estos motivos se pretende construir una planta piloto de producción de energía eléctrica con biomasa con una potencia de 500 kW en la isla de Príncipe, en la que funcionando un mínimo 8000 horas al año, el consumo de energía per cápita pueda subir a 571 kWh/habitante, haciéndose semejante al consumo de una isla como Samoa que tiene un desarrollo medio y con una economía creciente.

➤ **Combustible principal de la planta**

La planta se empleará biomasa forestal y residuos agrícola procedente de los bosques y plantaciones agrícolas de la isla de Príncipe, cuyas características se ha detallarán en el capítulo 9.

➤ **Determinación de las horas de funcionamiento**

La planta trabajará de forma continua, aunque se establece que una media de 22h diarias de funcionamiento. Para tener en cuenta las paradas programadas para el mantenimiento y también las paradas forzadas por causas inevitables. Esta disponibilidad supone un total de 8030h de funcionamiento al año, es decir, la planta estará en disponible en 91% del tiempo.

➤ **Rendimiento de la caldera (η_c)**

En la caldera hay diversas pérdidas debido a las pérdidas de calor en sus componentes, teniendo en cuenta los valores típicos del rendimiento de las calderas y los valores normalmente estimados por los fabricantes, se utilizará un rendimiento total de 90%.

➤ **Rendimiento de la bomba (η_b)**

La fricción de los elementos de la bomba con el fluido y la fricción de los elementos de la bomba entre sí, originan pérdidas. Estas pérdidas hacen que la bomba no funcione a 100%, de hecho se ha estimado un rendimiento isoentrópico de la bomba de 90%. Este valor son los valores típicos de rendimientos de la bomba disponibilidades por los fabricantes (ecuación 6).

➤ **Rendimiento de la turbina (η_T)**

Las diversas pérdidas en la turbina hacen con que su rendimiento no sea el 100%, por eso, se utilizará un rendimiento asociado de 85% como un valor normal disponibilizado por los fabricantes.

➤ **Rendimiento del intercambiador cerrado (Regenerador)**

De acuerdo a muchos estudios bibliográficos, se utilizará un rendimiento del regenerador de 95% (ecuación 8).

➤ **Temperatura de condensación (T_c)**

Teniendo en cuenta la temperatura media ambiente de la isla de Príncipe que varía entre 26 – 30 °C (se ha tomado el valor medio 28 °C); temperatura de bulbo húmedo correspondiente a la temperatura media y humedad media, tenemos que el agua fría a 22 °C = 77 agua de refrigeración .

El condensador se diseña de un solo paso para 10 °C de elevación de temperatura en el agua.

$$\text{Agua refrigeración} = 22 \text{ } ^\circ\text{C} + 10^\circ \text{C} = 32 = T_8$$

El condensador se diseñará para una diferencia terminal de Temperatura de 8 °C.

La temperatura de condensación será:

$$T_c = 32 + 8 = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

➤ **Temperatura de evaporación (Tev)**

De la bibliografía una temperatura de evaporación de 100 °C.

➤ **Temperatura máxima del aceite térmico**

Usando como aceite térmico el Therminol 55 y dejando un margen de seguridad de 15 °C, se establece como temperatura máxima del aceite térmico a la salida de la caldera de biomasa: 300 °C.

Considerando que el diseño del sobrecalentador se realiza con un $\Delta t = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$, la temperatura máxima del vapor se fija en 290 °C

8.2 Elección del Fluidos de trabajo

En este apartado se ha hecho la elección del fluido de trabajo buscando una combinación de las propiedades más importantes de los mismos. Para eso se ha estudiado las principales características que presentan los fluidos y simulando los mismos con ayuda de herramientas de informaticas.

8.2.1 Especificación según las características de los fluidos de trabajo

En la mayoría de los artículos y trabajos científicos se muestran estudio teóricos de los diferentes fluidos de trabajos con base en las simulaciones de los modelos termodinámicos o a partir de las propiedades termo físicas del fluido. Para una óptima escogencia del fluido de trabajo, la elección dependerá principalmente de la fuente de calor y de la temperatura del disipador de calor. Hay gran cantidad de fluidos que se adaptan a estas condiciones, por eso, el proceso de escoger un fluido nunca es fácil. Para que se consiguiese una elección coherente, intentó un compromiso entre estas características: especificaciones termodinámicas, seguridad, el medio ambiente, el precio y apoyo de programas de ordenador. Estos son algunos de los criterios que son fundamentales para conseguir una elección adecuada (NOUMAN, 2012).

❖ **Propiedades termodinámicas**

Las propiedades termodinámicas son muy importantes a la hora de elegir un fluido para el ciclo de Rankine, porque relaciona la utilización de energía con la reducción de las pérdidas

de exergía. A continuación se discrimina algunas de las propiedades termodinámicas más importantes que debe poseer el fluido (NOUMAN, 2012).

- Deberá tener una la presión de condensación por encima de la atmosférica para evitar la entrada de aire.
- La conductividad térmica y la viscosidad son parámetros muy importantes en el diseño de los intercambiadores de calor y otros equipos como es la bomba. Son parámetros necesarios cuando se estima el tamaño o el trabajo necesario para bombear el fluido. El ideal sería el fluido tener alta conductividad y bajo viscosidad, así se reduciría el tamaño de los intercambiadores de calor y el trabajo necesario para bombear el fluido de trabajo. En la figura 36 y 37 se muestran las conductividades e viscosidades de fluidos de trabajos con eficiencias térmicas más altas. La conductividad térmica se muestra a 373K y la viscosidad a 298K (NOUMAN, 2012). El agua solamente aparece en estas gráficas para ser comparado sus propiedades a de otros fluidos.

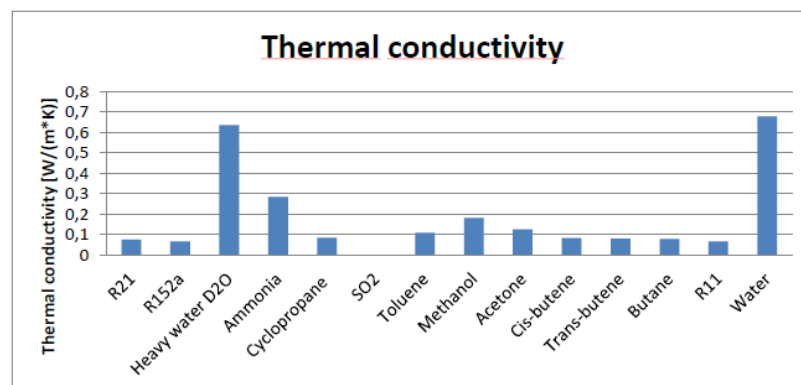


Figura 54. Conductividad térmica para diferentes fluidos (NOUMAN, 2012)

La (figura 57) muestra que el agua tiene una mayor conductividad térmica, mientras otros fluidos tienen una conductividad mucho menor, con el amoniaco a destacar entre los restantes fluidos como el que tiene una conductividad más alta entre ellos.

Como se muestra en la (figura 58) el agua tiene la viscosidad más alta y el amoniaco y el ciclopropano tienen la viscosidad más baja. Se puede concluir aparentemente que el amoniaco presenta características interesantes, como es la alta conductividad, baja viscosidad y alta eficiencia térmica.

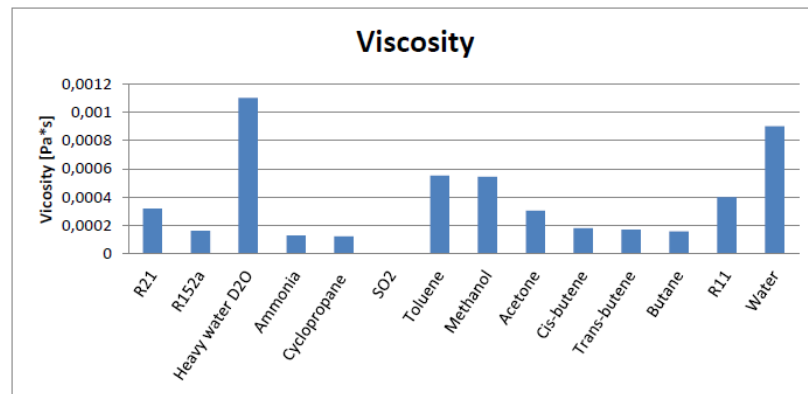


Figura 55. Viscosidad para diferentes fluidos de (NOUMAN, 2012)

- **Densidad del vapor** – Cuanto mayor es la densidad, menor es el volumen específico y la tasa de flujo volumétrico. Flujo volumétrico bajo es deseable para lograr componentes más pequeños y máquinas más compactas. Los fluidos de baja densidad tienen alto volumen específico y necesitan componentes (intercambiadores de calor, expansores) más grandes y un tamaño de componente mayor conduce consecuentemente a unidades más caras y sistemas más costosos, por otro lado, un alto volumen específico aumenta la caída de presión en los intercambiadores de calor y necesita mayor trabajo de la bomba.
- Gran variación de entalpía en la turbina para conducir a un alto trabajo neto saliente.
- La mejor recuperación de energía de la fuente de calor y disminución de la tasa de flujo másico del fluido de trabajo, está relacionado con la alta capacidad de calor del líquido.
- El fluido deberá ser térmica y químicamente estable.

❖ **Propiedades de transferencia de calor**

La transferencia de calor es muy importante porque es la clave cuando se dimensiona un sistema los intercambiadores de calor. Hay muchos factores que pueden afectar la transferencia de calor, y algunos están relacionados con arquitectura del ciclo, diseño de tuberías, las tasas de flujo y la selección de los materiales. Otros factores son las propiedades del fluido de trabajo que afectan las capacidades globales de la transferencia de calor. La conductividad térmica (k), el calor específico (C_p), la viscosidad (μ) son propiedades claves utilizadas para calcular los números de Prandtl ($Pr = \mu * C_p / k$) que son utilizados muchas veces utilizados en el diseño de los intercambiadores de calor. Es preferible disponer de un fluido de trabajo con una viscosidad de la más baja posible, y el calor específico y la conductividad térmica de las más altas posible (NOUMAN, 2012).

❖ **Criterios Ambientales y de seguridad**

Los criterios ambientales y de seguridad son de extrema importancia a la hora de seleccionar un fluido de trabajo porque muchos de los fluidos orgánicos son perjudiciales al ambiente porque tienen potencial de agotamiento de la capa de Ozono y calentamiento global. Aunque algunos son de buenas propiedades térmicas, al mismo tiempo tienen efectos ambientales y de seguridad indeseables. Debido a estas preocupaciones ambientales y de seguridad, algunos fluidos de trabajo entran en un listado de mucha peligrosidad, como es el caso del R-11, R-12, R-113, R-114, mientras que otros se están estudiando mejor gradualmente pero ya están indicados (como es R-21, R-22, R-123, R-124, R-141b y R-142b) (CHEN, et al., 2010).

❖ **Estabilidad del fluido y compactibilidad con los materiales en contacto**

A diferencia del agua, los fluidos orgánicos sufren un deterioro químico y descomposición a altas temperaturas. La máxima temperatura de operación está limitada por la estabilidad química del fluido. Además el fluido de trabajo debe ser no corrosivo y compatible con los materiales constituyentes del circuito. Andersen y Bruno (C. ANDERSEN & J. BRUNO, 2005) han presentado un método para evaluar la estabilidad química de los fluidos de trabajo. El método permite la determinación de la constante de velocidad de descomposición de los fluidos en las temperaturas y presiones de interés.

❖ **El precio**

El precio es otro criterio de extrema importancia debido al hecho de que los precios de los fluidos varían y pueden condicionar el diseño del ciclo. Refrigerantes tradicionales utilizados en ciclos Rankine orgánicos son caros. Este coste puede reducir con una producción masiva de estos refrigerantes, o con el uso de hidrocarburos de bajo coste.

Importante resaltar que el estudio efectuado no define directamente el fluido a usar en el proyecto. Desafortunadamente no se ha conseguido por parte de las empresas contactadas el listado de sus equipos y consecuentemente el fluido con que trabajan. Por eso no fue posible hacer el estudio final comparativo entre los equipos y empresas en el mercado para seleccionar el mejor equipo o conjugación de equipo-fluido. De esta forma el presente estudio es meramente académico, posibilitando simplemente el conocimiento de los fluidos que se adecuan mejor al propuesto.

Han surgido durante la investigación de las literaturas unos fluidos con potencialidades para lo que se pretende y otros que no cumplen con las características propuestas. No se trata de una clasificación de cuál es el mejor o el peor fluidos, tratase de un compromiso (escoger el fluido más adecuado) que debe ser hecho a la hora de seleccionar el fluido.

Como se ha podido demostrar, la tarea de seleccionar el fluido de trabajo óptimo para un ciclo orgánico de Rankine no es algo fácil, hay un gran rango de fluidos y muchos criterios que deben ser tomados en consideración. Normalmente los fluidos tienen unas propiedades buenas y otras no tan buenas, y eso hace que la comparación entre tantos fluidos sea algo costoso porque el fluido tiene que conseguir un compromiso entre las propiedades termodinámicas, ambientales y de seguridad.

Del punto de vista termodinámico, el caudal de flujo volumétrico y la viscosidad del fluido deben ser tan bajo cuanto sea posible para reducir el tamaño de los componentes, el trabajo necesario para el bombeo y las pérdidas de presión.

De acuerdo a las presiones de condensación y evaporación del ciclo, puede haber tres diseños distintos: ciclo orgánico de Rankine subcrítico, trans-crítico y supercrítico.

- **Ciclo orgánico de Rankine subcrítico** – en este diseño, la presión crítica para el fluido de trabajo seleccionado es mayor que las presiones en el evaporador y el condensador, la temperatura de evaporación normalmente es inferior a la temperatura crítica. De hecho se puede mencionar algunos fuertes candidatos a ser utilizados en un ciclo con estas características, como son los heptanos, etanol, metanol y amoníaco.
- **Ciclo orgánico de Rankine supercrítico** – en este diseño las presión crítica es más baja que las presiones de los evaporadores. Los fluidos orgánicos que se adecuan a este diseño son los que tienen bajas presiones y temperaturas críticas. Ellos son xenón, óxido nitroso y dióxido de carbono (NOUMAN, 2012).
- **Ciclo orgánico de Rankine Transcrítico** – es semejante al supercrítico con la diferencia de que el trabajo necesario para comprimir el fluido de trabajo es más reducido. El fluido ideal para ese tipo de diseño es el CO₂.

La presión alta puede traer ventajas, como el hecho de que conduce a una densidad de fluido de trabajo mayor y una tasa de flujo volumétrico menor. Con una tasa de flujo volumétrico menor, significa un el tamaño de los componentes bastante reducido, lo que significa la creación de máquinas más compactas.

Teniendo en cuenta la eficiencia térmica de los fluidos de trabajo, los mejores fluidos para los ciclos subcriticos son: amoniaco, ciclopropano, R152a, dióxido de azufre (SO₂), tolueno, metanol, acetona, cis-buteno, trans-buteno, butano y R11.

Para los criterios ambientales y de seguridad, criterio este bastante restricto, el fluido debe ser no inflamable, no toxico y con bajo potencial de calentamiento global. Siguiendo estos

criterios, es preferible mencionar los fluidos orgánicos a los cuales se deben tener bastante cuidado con su uso, ellos son: amoníaco (inflamable y tóxico), dióxido de azufre (tóxico), metanol (inflamable), R21 (inflamable y tóxico), trans-buteno (altamente tóxico), acetona (inflamable), butano (altamente tóxico), R11 y R152a (tóxico) (NOUMAN, 2012), en contraste con R245fa, fluido comúnmente usados en los sistemas ORCs, visto que se trata de un fluido con características muy aceptables, como son la no inflamabilidad, baja toxicidad (nivel de expansión permitido sobre 300 ppm) y propiedades ambientales moderadas (PIRES PÉREZ, et al., 2015), el cual ha sido probado como un buen fluido de trabajo para recuperación de calor de residual de baja calidad. Como ya mencionado anteriormente no hay un fluido de trabajo ideal que tenga todos los criterios y propiedades deseables al mismo tiempo, por ejemplo el R124 es un fluido de trabajo seguro y respecta el ambiente pero su rendimiento termodinámico es bastante bajo. Hay que haber una combinación coherente entre los criterios, normalmente la buena combinación entre el alto rendimiento termodinámico, los criterios ambientales y de seguridad dan origen en un fluido de trabajo adecuado.

Es caso para decir que no hay un fluido de trabajo ideal, habrá que haber sí, una buena conjugación entre las propiedades termodinámicas, ambientales y de seguridad.

7.3.1.1 Descripción de fluidos simulados

En este sub-apartado se hace una descripción breve de cada uno de los fluidos simulado.

- **R134a** – Es un refrigerante muy común en la industria de refrigeración, en aplicaciones industriales tales como enfriadores centrífugos y refrigeración de alta y media temperatura (doméstica y comercial), aire acondicionado residencial y automóvil, es también un componente común en muchas mezclas de gases refrigerantes HFC.
- **R717 (Amoníaco)** – es un refrigerante natural reconocido como el refrigerante más eficiente, se usa en aplicaciones industriales desde la década de 1930, es tóxico y ligeramente inflamable.
- **R600a (isobutano)** – un refrigerante natural y adecuado en muchas aplicaciones de refrigeración, su uso es cada vez mayor debido a su bajo impacto ambiental y óptimo rendimiento termodinámico.
- **R12, R113, R114**, - los CFCs son de alto potencial de agotamiento de la capa de ozono (ODP) y alto potencial de calentamiento global (GWP). El uso de los mismos está sometida a la legislación y prohibición de ventas en países desarrollados.

- **R123** – es el adaptador alternativo de R11 y R113 en enfriadores centrífugos de baja presión. Clasificado como de medio potencial de agotamiento de la capa de ozono (ODP) y de medio alto potencial de calentamiento global (GWP), se está eliminando gradualmente.
- **R21** – otro de los refrigerantes que se está eliminando, de hecho su consumo ha bajado al 15% nivel de 1989 debido a su alto potencial de calentamiento de Ozono.
- **401^a** - es una mezcla de HCFC diseñado para la reconversión de sistemas de R12. Con potencial medio de agotamiento de la capa de ozono (ODP) y medio alto potencial de calentamiento global (GWP), tiene especial aplicación a los sistemas de refrigeración y aire acondicionado.
- **R406a** – es un refrigerante que es el sustituto directo del R12 y puede ser usado en sustitución del R502 y del R22 en los sistemas de refrigeración comercial. Es un refrigerante no tóxico, es incoloro, no inflamable
- **R500** – es un refrigerante que está prohibido desde 2006 por su composición perjudicial al ambiente, pero se usa en sistemas de los años 1950 hasta 2005, es caro por su falta de oferta y utilizado principalmente en sistemas de aire acondicionado residencial y comercial.
- **R600 (butano)** – es un gas natural, inodoro, incoloro e inflamable, es el gas conocido por ser el gas de las cocinas.
- **RC318** – este refrigerante que se emplea mucho en la fabricación de semiconductores, no es inflamable y con potencial nulo de agotamiento de la capa de ozono.

En la (tabla 12) están resumidas algunas de las características más importantes de los fluidos simulados. Estos datos fueron cogidos del site de “THE LINDE GROUP” (THE LINDE GROUP, 2015).

Tabla 13. Características de los fluidos simulados

Producto	Punto de Ebullición 1 atm °C	Temperatura Crítica °C	Presión crítica (bar)	ODP*	GWP*	ASHRAE Grupo Seguridad	ASHRAE Toxicidad	ASHRAE Inflamabilidad	Precio (€/kg)	Corrosión (Cobre)
R134a	-26	101	41	0	1430	A1	No	no	14,167	
R717	-33	132	113	0	0	B2	Sí (muy)	Sí (poco)		Sí
R600a	-12	135	36	0	20	A3	No	Sí (muy)		No
R12	-29,75	111,97	41,36	1	10900	A1		No		
R113	47,59	214,06	33,92	1	6130	A1		No		No
R114	3,59	145,68	32,57	1	10040	A1		No		No
R123	28	184	37	0,06	77	B1	Sí	No		
R21	8,86	178,33	51,81	n.a	n.a	B1		No		
R401a	-33	107	46	0,033	1182	A1	No	No	2,35	
R406a	-32,7	114,49	45,81	0,036	0,19	B1	No	Sí (muy)		
R500	-33,5	105	41,73	0,7	8100	A1				
R600	-0,5	152	37,96	0	20	A3	No	Sí (muy)	1,021	No
RC318	-5,8	115,2	27,78	0	10250	A1		No		No

ODP* -Potencial de Agotamiento del Ozono en relación con R11

GWP* - Potencial de calentamiento Global en relación con CO₂

8.2.2 Simulación en CoolPack

Mediante el estudio de las bibliografías sobre las potencialidades de los fluidos orgánicos para uso como fluidos de trabajo no se consigue tener una idea de cuál de los fluidos se adaptaría mejor al proyecto en lo que se está trabajando. Por eso se ha simulado el sistema propuesto con diferentes fluidos de trabajo usando el programa de análisis, simulación y dimensionamientos de modelos de sistemas de refrigeración (CoolPack) que permite conocer las propiedades termodinámicas de los diferentes fluidos de trabajo en las diferentes condiciones de operación. Así mismo, se ha usado una hoja de cálculos Excel con el fin de analizar, comparar las características, dimensionar los parámetros de los componentes del ciclo y el rendimiento del ORC, para los diferentes fluidos de trabajo.

Sabiendo de antemano que usando un esquema básico del ciclo de Rankine, aquel que es usado cuando el equipo es pequeño o cuando el rendimiento de un regenerador no compensa el coste del mismo y que normalmente constan cuatro equipos: el expansor o turbina, el condensador, la bomba y el evaporador-calentador, no se logra grandes rendimientos, se ha hecho el estudio basado en un esquema regenerativo (figura 58), que consiste en acrecentar al esquema básico un regenerador con el objetivo de aumentar rendimiento del proyecto y hacerle más viable. Para eso, se ha apoyado en el esquema del artículo “Fluid selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) in biomass power and heat plants” de (DRESCHER & BRÜGGEMANN, 2007).

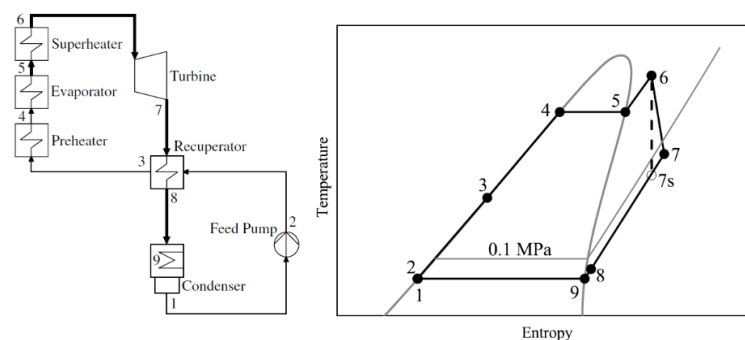


Figura 56. Esquema ORC propuesto para la simulación

Se demuestra con los cálculos siguientes un ejemplo con el fluido R600 (Butano), el cálculo completo de un ORC. Lo que se pretende es un análisis de los resultados que se ha alcanzado con la simulación de cada fluido de trabajo presente en el archivo del CoolPack. Algunos fluidos presentes en el programa referido no se encuadran en las condiciones iniciales de

trabajo propuestas. Los valores calculados para los restantes fluidos vienen discriminados en Excel en anexo.

Tabla 14. Tabla resumen de condiciones iniciales

Condiciones iniciales	
Potencia (kW)	500
T. Condensación °C	40
T. Evaporación °C	100
T. máxima del vapor °C	290
Rendimiento TV (%)	85
Rendimiento eléctrico (%)	98
Rendimiento Intercambiador Cerrado (%)	95
Ciclo	Subcrítico

Para estas condiciones de condensación, el R600 tiene las siguientes propiedades:

$$P_c = 3,751 \text{ bar}$$

Temperatura del aceite térmico caldera de biomasa:

$$Máx = 300 \text{ °C}$$

➤ **Considerando que el diseño del sobrecalentador se realizará con un**

$$\Delta t = 10 \text{ °C}$$

La temperatura máxima del vapor podría ser:

$$290 \text{ °C} = T_6$$

T. evaporación = 100 °C Se deja fija

$$P. \text{ evaporación} = 15,117 \text{ bar} = P_6$$

Condición de entrada de la turbina:

$$h_6 = 1210,065 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$S_6 = 3,549 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right)$$

Considere ideal a la salida de la turbina: 7s (Expansión isoentropica)

$$S_{7s} = S_6 = 3,549 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right)$$

$$P_{7s} = P_7 = P_{\text{cond.}} = 3,751 \text{ bar}$$

$$\text{En CoolPack} \gg \gg h_{7s} = 1105,385 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

➤ **Rendimiento de la turbina de vapor: rendimiento isoentrópico**

$$\eta_{\text{isoentrópico } Tv} = \frac{h_6 - h_7}{h_6 - h_{7s}}$$

$$h7 = h6 - \eta_{\text{isoentrópico}} (h6 - h7s)$$

$$h7 = 1121,087 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$(\#) \eta_{\text{isoentrópico}} T v = 85\%$$

El rendimiento del intercambiador precalentador cerrado se define por la diferencia terminal de $T^\circ (\delta)$ que se establece así:

$$\delta = 10^\circ\text{C} = T8 - T2 \gg T2 \simeq T1 = T_{\text{cond}} = 40^\circ\text{C}$$

$$T8 = T2 + 10^\circ\text{C} = 50^\circ\text{C}$$

$T8$ es la temperatura mínima a la que se puede bajar el vapor al ceder calor en el intercambiador cerrado.

$$h7 \text{ a } T7 \longrightarrow h8 \text{ a } T8$$

$$h8 \longrightarrow \text{a } P8 = P7 = 3,571 \text{ bar y } T8 = 50^\circ\text{C}$$

$$\text{En CoolPack } \gg \gg h8 = 658,322 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

➤ Balance de energía en el intercambiador cerrado

$$\eta_{\text{Intercambiador cerrado}} = \frac{h3 - h2}{h7 - h8}$$

$$h2 = hf + W_{\text{bomba}}$$

$$hf = \text{liquido saturado a } 40^\circ\text{C}$$

$$hf (40^\circ\text{C})$$

$$hf = 296,1 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$W_{\text{bomba}} \simeq v_l (P2 - P1) = v_f (P2 - P1)$$

$$v_f (P2 - P1) = 0,0017946 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \times (15,117 \text{ bar} - 3,751 \text{ bar})$$

$$W_{\text{bomba}} = 2,040 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$(*) P2 = P6 = P_{\text{evap}} = 15,117 \text{ bar}$$

$$(*) P1 = P7 = P_{\text{cond}} = 3,751 \text{ bar}$$

$$\text{En CoolPack } \gg \gg h2 = 298,92 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

Con un rendimiento del regenerador de 95%

$$h3 = 0,95 \times (h7 - h8) + h2$$

$$h3 = 0,95 \times \left(1121,087 - 658,322 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) + 298,92 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$h3 = 737,674 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) > hf (\text{a } T_{\text{evap}}) = 456,27 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

Quiere decir que empieza a evaporar dentro del intercambiador cerrado.

➤ **Trabajo neto de la turbina de vapor.**

$$W_{tv} = h_6 - h_7$$

$$W_{tv} = 1210,085 \frac{kJ}{kg} - 1121,087 \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

$$W_{tv} = 88,978 \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

➤ **Trabajo neto del ciclo:**

$$W_n = W_{tv} - W_{bomba}$$

$$W_n = 88,978 \left(\frac{kJ}{kg} \right) - 2,040 \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

$$W_n = 86,938 \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

➤ **Aporte de calor:**

$$Q_{caldera} = h_6 - h_3$$

$$Q_{caldera} = 1210,065 \left(\frac{kJ}{kg} \right) - 737,676 \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

$$Q_{caldera} = 472,39 \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

➤ **Rendimiento neto del ciclo**

$$\eta_{\text{ciclo ORC}} = \frac{W_n}{Q_{caldera}}$$

$$\eta_{\text{ciclo ORC}} = \frac{86,938}{472,39}$$

$$\eta_{\text{ciclo ORC}} = 18,4\%$$

➤ **Flujo másico para 500 kW, considerando el rendimiento eléctrico (η eléctrico) de 98%**

$$P_{\text{efectiva}} = \eta_{\text{eléctrico}} \times W_n \times \dot{m}_v$$

$$\dot{m}_v = \frac{P_{\text{efectiva}}}{\eta_{\text{eléctrico}} \times W_n}$$

$$\dot{m}_v = \frac{500 \left(\frac{kJ}{s} \right)}{0,98 \times 86,938 \left(\frac{kJ}{kg} \right)}$$

$$\dot{m}_v = 5,868 \left(\frac{kg}{s} \right)$$

Mediante las condiciones iniciales de trabajo, en un primer abordaje de los resultados, teniendo en consideración solamente los parámetros termodinámicos, o sea, sin las restricciones de los fluidos, sea por las condiciones de seguridad, ambientales o coste en el mercado, se ha hecho algunas comparaciones entre los fluidos.

Discusión

Se verifica que, el rendimiento de los fluidos en general no subrepasan el 20%, variando entre los 16% y 19,9%. De acuerdo a las condiciones referidas, los fluidos R500, R401a, R600 (butano), R600a (isobutano) y R717 (amoniaco) son algunos de los fluidos que presentan rendimientos superiores a 18% como se muestra en la (figura 59). Son rendimientos razonables pero que para un proyecto como el de la isla de Príncipe, peculiares en sus aspectos, se pretende que sea un poco mayores.

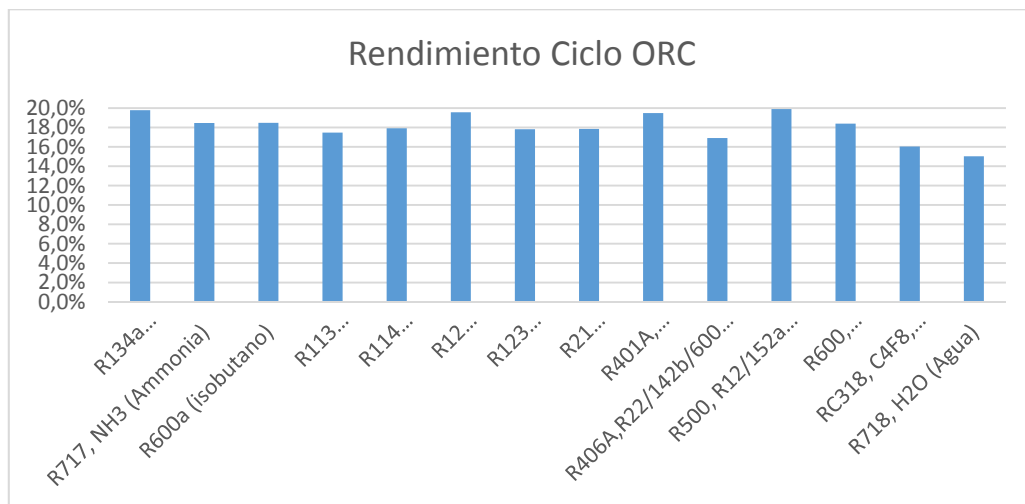


Figura 57. Grafica comparativas del rendimiento de los fluidos

El flujo másico de los fluidos es uno de los parámetros que más varía de fluido para fluido, hay fluidos que presentan flujos másicos muy bueno (bajos) y hay otros que presentan flujos másicos no tan buenos (altos). Este es también uno de los parámetros que puede facilitar mucho a la hora de escoger el fluido, porque esta característica puede obligar a determinados cambios en el dimensionamiento del sistema de tubería y pesar en la decisión debido el coste por kilogramo de fluido. Los fluidos que presentan flujos másicos más bajos son el R600a (isobutano) y R600 (butano) R717 (Amoniaco) que presenta un flujo másico de menos de 2 kg/s, contrastando con el R114 y el RC318 que presenta un flujo másico altísimo de casi 20 kg/s como muestra la (figura 60).

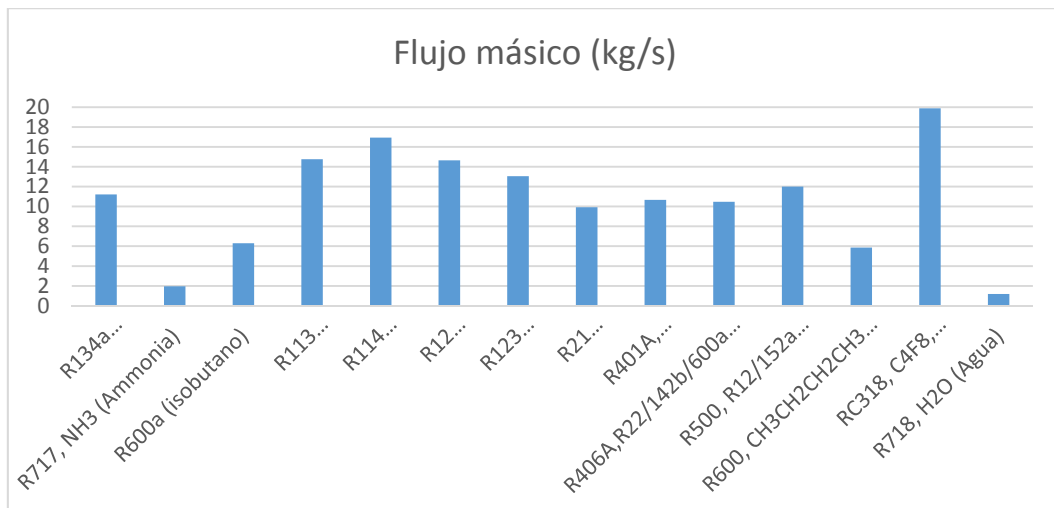


Figura 58. Grafica comparativa de los flujos másico de los fluidos

Mediante estos dos parámetros de comparación, la conclusión que se llega es que hay tres fluidos con propiedades termodinámicas adecuadas para uso como fluido de trabajo en el ciclo ORC del proyecto, porque son fluidos que presentan una buena conjugación entre el rendimiento alto y flujo másico bajo, son ellos: El R717 (amoniac), el R600a (isobutano) y el R600 (butano).

Visto que la elección del fluido de trabajo ideal no se resume únicamente a sus propiedades termodinámicas, hubo que tomarse en consideración otras propiedades que de igual manera son determinantes para la elección del fluido de trabajo. Teniendo en cuenta al dispuesto en el subapartado (8.2.1) en la tabla 13, características como ODP, GWP, Grupo de seguridad, toxicidad y el precio por kg, han pesado en la decisión. De hecho el R717 (amoniac) se descarta su uso por dos motivos principales, el hecho de que es extremadamente tóxico y corrosivo, y el hecho de que encarece muchísimo el precio del montaje de la instalación.

Quedando dos fluidos (R600a y R600), muy parecidos en sus propiedades intrínsecas descritas anteriormente de acuerdo a las condiciones iniciales como visto en las gráficas anteriores. Concretamente el R600 tiene un rendimiento de 18,4% y un flujo másico de 5,87 kg/s mientras el R600a tiene un rendimiento de 18,5% y un flujo másico de 6,30 kg/s.

De hecho para conseguir una mejor comparación, se ha simulado también un aumento en las presiones de evaporación, llegando a puntos supercríticos de los fluidos, verificando como varían los rendimientos.

En la (figura 61) se verifica que a medida que se fueron aumentando las presiones de evaporación, el rendimiento del ciclo también ha aumentado para el fluido R600a.

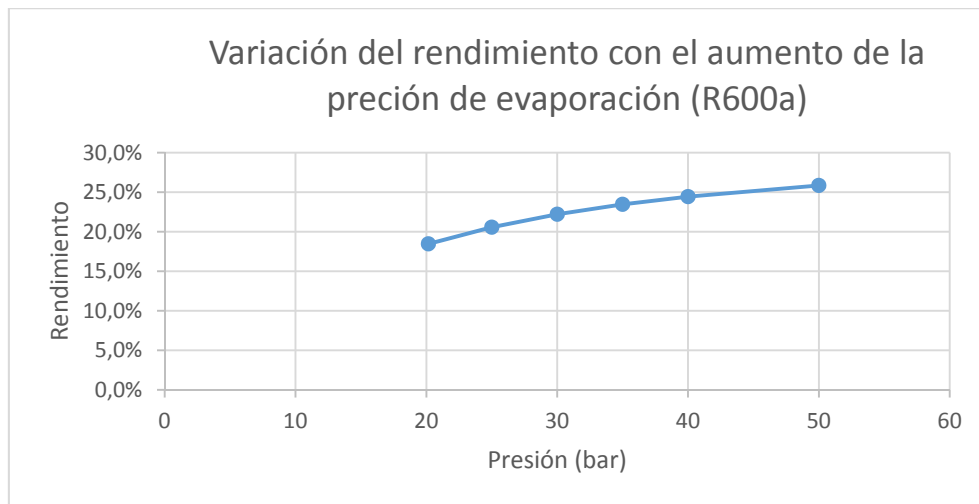


Figura 59. Variación del rendimiento con el aumento de la presión

Este hecho se ha verificado también con el fluido R600 como se muestra en la (figura 62), aunque en este fluido el rendimiento fue ligeramente superior.

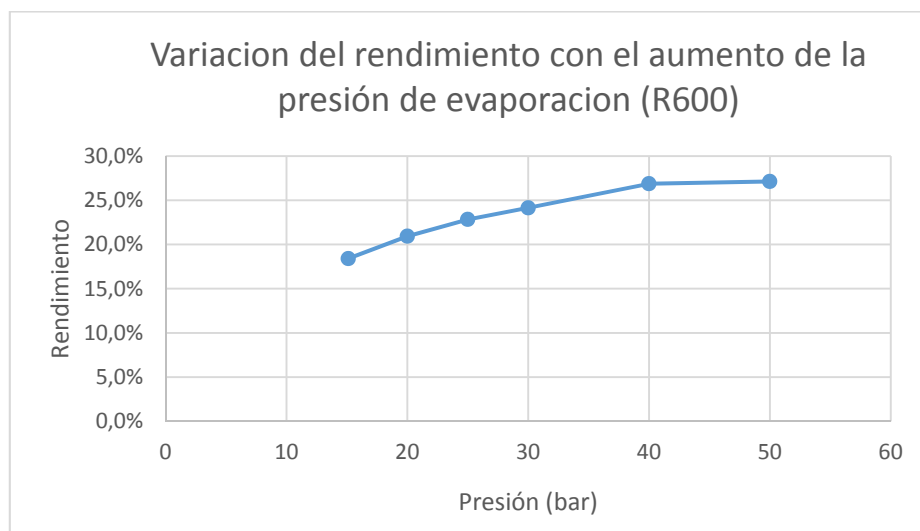


Figura 60. Variación del rendimiento con el aumento de la presión

Mediante estas consideraciones y como se ha comprobado, se ha conseguido rendimientos muy satisfactorios. Con esto, se ha optado por utilizar el fluido R600 (butano) como fluido de trabajo en el ciclo ORC de la planta. El fluido trabajará en condiciones supercríticas (50 bar) y aunque el fluido presenta una alta inflamabilidad, nunca llegaríamos a su pinh point de 405 °C (TURMO SIERRA, C.a 2012). Su precio el mercado es bastante más reducido que los otros, lo que nos garantiza un coste menor por Kilogramo de fluido (1,20€/kg). Es un fluido que se usa con mucha frecuencia y tiene añadida otra ventaja, es un fluido que se consigue con facilidad en Santo Tomé y Príncipe, hecho que ya no se pasa con los otros fluidos en estudio.

8.3 Agua de refrigeración

Después de haber escogido el fluido, se ha calculado el caudal de agua de refrigeración, que se demuestra seguidamente.

$$c_p \text{ del agua} = 4 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$$

$$Q_{\text{cond.}} = (Q_{\text{cald}} - W_{\text{neto}}) \cdot \dot{m}_v = \dot{m}_{\text{aguaCond}} \cdot c_p \cdot \Delta t$$

$$\dot{m}_{\text{aguaCond}} = \frac{(Q_{\text{cald}} - W_{\text{neto}}) \cdot \dot{m}_v}{c_p \cdot \Delta t}$$

$$\dot{m}_{\text{aguaCond}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) = \frac{\left[521,958 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) - 141,552 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \right] \cdot 3,6 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \cdot 10 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$\dot{m}_{\text{aguaCond}} = 32,8 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right)$$

Mediante los resultados alcanzados sobre el fluido escogido para ser usado, los resultados de la simulación se resumen en la tabla.

Tabla 15. Tabla resumen de los resultados de la simulación

Resumo Resultado Simulación R600 (butano)	
Ciclo	Supercritico
T. Sobrecalentador °C	290
Rend. Ciclo (%)	27,1
m. Vapor (kg/s)	3,60
m. Vapor*Precio (€/s)	3,68
P. evaporación (bar)	50
Agua Refrigeración (kg/s)	32,8

8.4 Estimación de cantidades de Biomasa necesaria

En este subapartado se ha pretendido calcular la cantidad de biomasa anual necesaria para la producción de 500 kW.

Tabla 16. condiciones iniciales

Condiciones iniciales de la biomasa a la entrada de la caldera	
PCI Bh 10%	15500 KJ/kg
Rendimiento total de la instalación	
Rend. Caldera aceite térmico (%)	90
Rend. Caldera recuperación (%)	95
Rend. ORC (Butano) (%)	27,1
Rend. Eléctrico (%)	98
Calor latente del agua (kJ/kg H ₂ O)	2500

Horas de funcionamiento anuales (h)	8030
-------------------------------------	------

Reportando a la fórmula 17 para la corrección del PCI tenemos:

$$\begin{aligned}
 PCIh \left(\frac{kJ}{kg} \right) &= \left[17500 \frac{kJ}{kg} - 2500 \times \left(\frac{0,1}{1 - 0,01} \right) \right] \times (1 - 0,1) \\
 &= (17500 - 278) \times (1 - 0,1) \\
 &= 15\,500 \frac{kJ}{kg}
 \end{aligned}$$

El consumo de biomasa viene dado por la fórmula 18:

$$\rightarrow \eta (\text{total de la instalación}) = \eta \text{ Caldera} \times \eta \text{ ORC} \times \eta \text{ Eléctrico} \times \eta \text{ Rec. Calor}$$

$$\rightarrow \eta (\text{total de la instalación}) = 22,7\%$$

$$\dot{m}f (h) 10\% Hbh = \frac{500 \frac{kJ}{h}}{0,227 \times 15\,500 \frac{kJ}{kg Hbh}}$$

$$0,142 \frac{kg}{s} = 511,58 \frac{kg}{h}$$

$$= 511,58 \frac{kg}{h} \times 8030 h$$

$$= 4\,108 \frac{\text{Ton } 10\% Hbh}{\text{año}}$$

La biomasa necesaria para el funcionamiento de la planta fue estimada en 4 108 toneladas por año de biomasa con una humedad del 10% bh.

8.5 Calculo de calor necesario para el secado artificial de la biomasa

La biomasa se secará al aire de forma natural hasta un 50% y de una forma artificial reducirá la humedad hasta un 10% Bh. Los cálculos se harán para cada kg de biomasa húmeda que entra en la caldera.

➤ **Calculo de humedad que habrá que retirar De acuerdo a la fórmula 12 se tiene:**

$$kgH_2O = kgh \times \%Hbh$$

$$kgs = kgh \times (1 - Hbh)$$

→ **condición inicial 50%HRbh**

$$\frac{KgH_2O \text{ } 50\% Hbh}{Kgs} = \frac{\%Hbh}{1 - \%Hbh} = \frac{0,5}{1 - 0,5} = 1$$

→ **Condición final 10%HRbh**

$$\frac{KgH2O\ 10\% Hbh}{Kgs} = \frac{\%Hbh}{1 - \%Hbh} = \frac{0,5}{1 - 0,1} = 0,111$$

→ **Humedad a retirar por kg seco:**

$$\frac{kg\ H2O\ 50\% Hbh - kg\ H2O\ 10\% Hbh}{kgs} = 1 - 0,111 = 0,89 \frac{kgH2O}{kgs}$$

Lo que nos interesa no es el kg seco pero sí el kg húmedo a 10% de humedad en base húmeda.

$$\begin{aligned} 0,89 \frac{kgH2O}{kgs} \left(\frac{kgH2O}{kgs} \right) &= 0,89 \frac{kgH2O}{kgs} \times (1 - \%Hbh) \\ &= 0,89 (1 - 0,1) \\ &= 0,8 \frac{kgH2O}{kgs\ 10\% Hbh} \end{aligned}$$

➤ **Calculo del calor necesario para el secado**

$$Q_{secado} = 2500 \frac{kJ}{kgH2O} \times 0,8 \frac{kgH2O}{kgh\ (10\%Hbh)}$$

$$Q_{secado} = 2000 \frac{kJ}{kgh\ (10\%Hbh)}$$

Este quiere decir que por cada kg de biomasa en condiciones de entrada a la caldera, se debe aportar 2000 kJ para secar la biomasa desde el 50% Hbh.

➤ **Estudio de la cogeneración para el secado de la biomasa en calderas de aceite térmico.**

Inicialmente se ha considerado el rendimiento de la caldera de aceite térmico de 90%:

$$\eta_{caldera} = 100 - \text{perd. calor sensible} - \text{perd. por radiación y por convención}$$

$$\rightarrow \text{perdidas por radiación y convención} \approx 2\%$$

$$\text{Perd. por calor sensible} = 100 - \eta_{caldera} - 2\% = 8\%$$

El calor sensible que normalmente se pierde en las calderas, es lo que se puede aprovechar para el secado de la biomasa. En estas condiciones, el calor disponible para el secado es:

$$Q_{disponible\ secado} = \text{perd. calor sensible} = 0,08 \times PCIh$$

$$= 0,08 \times 15500 \frac{kJ}{kgh\ (10\% Hbh)}$$

$$= 1240 \frac{kJ}{kgh\ (10\% Hbh)}$$

Este valor es menor que los 2000 kJ/kg (10% Hbh) que es el valor que se debe aportar por el secado. La solución fue ir reduciendo el rendimiento de la calera hasta que sea suficiente para el secado de la biomasa, así:

$$2000 \frac{kJ}{kg (10\% Hbh)} = PCIh \times \% \text{ de perd. calor sensible}$$

$$\text{Perdidas calor sensible} = \frac{2000 \frac{kJ}{kg (10\% Hbh)}}{15500 \frac{kJ}{kg (10\% Hbh)}}$$

$$\text{Perdidas calor sensible} = 0,129 = 12,9 \%$$

➤ **Modificación (reducción) del rendimientos de la caldera de aceite térmico**

$$\eta \text{ Caldera} = 100\% - 12,9\% - 2\%$$

$$\eta \text{ Caldera} = 85,1\%$$

Esto significa que para el secado de la biomasa con los gases de combustión de la caldera, el rendimiento de la misma bajará un poco. Este hecho hace que el consumo de biomasa aumente debido a la reducción del rendimiento de la caldera. Puesto esto, hubo que recalcular el consumo de la biomasa como se muestra:

➤ **Consumo de biomasa (Recalculado)**

$$\begin{aligned} \dot{m}f (h) 10\% Hbh &= \frac{1800000 \frac{kJ}{h}}{0,214 \times 15500 \frac{kJ}{kg Hbh}} \\ &= 542,66 \frac{kg}{h Hbh} \\ &= 542,66 \frac{kg}{h Hbs} \times 8030 h \\ &= 4357,56 \frac{\text{Ton } 10\% Hbh}{\text{año}} \end{aligned}$$

El nuevo consumo de biomasa se fija en 4 357,56 Ton/año con 10% de humedad (base húmeda).

Este consumo de biomasa en las condiciones de entrada a la planta al 50% de humedad (base húmeda) es igual a:

$$\dot{m}f (h) 50\% Hbh = \dot{m}f (h) 10\% Hbh \cdot \frac{1 - 0.1}{1 - 0.5}$$

$$\dot{m}_f (h) 50\% Hbh = 977 \frac{kg}{h} \text{ con } 50\% Hbh = 7842 \frac{ton}{año} \text{ con } 50\% Hbh$$

8.6 Requisitos constructivos

En términos generales se puede dividir el proceso de generación de energía eléctrica a partir de biomasa en cuatro sistemas, algunos de ellos ya descritos anteriormente.

8.6.1 Sistema de transporte de biomasa

Se ha considerado el transporte de biomasa directo desde los centros de máxima concentración a la planta sin parques intermedios. La baja densidad del producto obliga al uso de transporte de gran capacidad.

Antes del proceso de transporte habrá un proceso dentro de los bosques que consistirá en desramado, descortezado y empacado de la biomasa antes del traslado de la biomasa a la planta, con la ventaja de que la puesta en marcha de este sistema resulta más económica que la de los sistemas de astillado in situ o en parques intermedios. Para distancias pequeñas como será el caso, resultará más rentable mismo teniendo en cuenta que habrá que compactar la biomasa, lo que requiere la incorporación en los equipos de tratamiento de residuo forestal de una máquina específica en el bosque para este trabajo con el fin de reducir el volumen de la biomasa, aumentar la densidad de la misma y reducir los costes de manejo, transporte y almacenamiento.



Figura 61. Tratamiento de biomasa dentro del bosque

Después de los puntos de máxima concentración a la planta, la biomasa será transportada por camiones normales de 2 o 3 ejes. Ejemplo adecuado será Volvo FE de 2 ejes y una capacidad variada entre 13 y 23 toneladas.



Figura 62. Camión Volvo FE

Para una logística completa se ha adoptado dos camiones basculantes de caja abierta de forma a facilitar el cargado y descargado de biomasa. Es un vehículo que se adapta bien a las condiciones que se encontrará en la isla Príncipe. Todas las características inherentes al vehículo constan en el (anexo 4).

SUSPENSIÓN TRASERA					
Tipo	Configuración de ejes	Tipo de suspensión	Carga sobre eje/bogie (toneladas)	Reducción	Eje loco detrás de eje motriz
Eje único					
<input type="checkbox"/> RAD-L90	4x2	Ballesta parabólica, normal	13	Simple/cubo	
<input type="checkbox"/> RAD-KR	4x2	Neumática	13	Simple/cubo	
Bogie					
<input type="checkbox"/> RADT-KR	6x2	Neumática	19/21	Simple/cubo	Fijo/direccional
<input type="checkbox"/> RADD-BR	6x4	Parabólica	21	Simple/cubo	

Figura 63. Configuración del vehículo de transporte

La planta estará también munida de 2 palas de ruedas cargadoras Caterpillar 908H2, con una capacidad del cucharón de 1.1 m³ para el cargado y descargado de la biomasa en los parques de almacenamiento de astillas y los trabajos dentro de la planta en que se los necesite.



Figura 64. Pala Cargadora Caterpillar 908H2

Las restantes informaciones sobre las características principales de la pala cargadora Caterpillar 908H2 se presentan en el (anexo 5).

La logística organizativa del transporte de biomasa será de acuerdo al esquema representado en la (figura 67), caracterizado por los trabajos de tratamiento de la biomasa en los bosques, seguidamente se cargará la biomasa a los camiones que los transportará hasta la planta donde pasaran por los tratamientos adecuados antes de entraren el proceso de transformación.



Figura 65. Proceso de transporte de Biomasa

8.6.2 Sistema de astillado, secado y almacenamiento

La biomasa que llegará a la planta necesitará de ser acondicionada para su uso, este proceso resultará imprescindible y rentable. Se tratará de varios procesos y inclusive el astillado o reducción de tamaños con la finalidad de obtener de un combustible homogéneo con propiedades adecuadas.

La biomasa llegada a la planta es pesada y medida su humedad que no superará los 55 %.

El sistema de astillado será compuesto por una astilladora de tambor fija serie PTH de la empresa “PEZZOLATO”, munidas de todas los extras y configuraciones como por ejemplo, detector de metal, tamizador de astillas, rejillas de cribado y transportador vibratorio.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		PTH 700/660	PTH 900/660	PTH 1000/820	PTH 1000/1000
Motor eléctrico	Kw	110	132	250	315
Diámetro máximo astilla (madera blanda)	mm	400	400	560	700
Diámetro máximo astilla (madera dura)	mm	300	300	450	550
Cuchillas	nr	2	2	2	2
Producción horaria	m ³ /h	40-50	60-70	100-120	130-150
Diámetro tambor	mm	660	660	820	1000
Ancho tambor	mm	640	950	900	1000
Rodillos superiores	nr	1	1	1	1
Rodillos inferiores	nr	1	1	2	2

Figura 66. Características de la rastilladora PEZZOLATO serie PTH 700/660

En el (anexo 3) están todas las características no mencionadas de la maquina astilladora.

Justo después del proceso de astillado, habrá un secador rotativo trómel compuesto por un tambor rotativo en el que se introduce las astillas y el gas de combustión de la caldera responsable por la reducción de la humedad de la astilla hasta un 10 %. El calor necesario para el secado de las astillas fue calculado en el apartado 8.5 y es de 2 000 kJ por kg de astilla.

Para el proyecto se adoptó el TRÓMEL MOD.1000 de la empresa tamlsgrup con las siguientes características.

Características técnicas				
Modelo		Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible (A)	
			230V	400V
CBP-1856-4T-5,5	CBPC-1856-4T-5,5	1430	14,31	8,26
Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m ³ /h)	Nivel presión sonora dB(A)	Peso aprox. CBP CBPC (Kg)	
4,00	17200	82	128	155

Figura 67. Características del trómel de secado

Dada la cantidad diaria de biomasa requerida, la logística de este material tornase imprescindible para el buen funcionamiento de la planta.

Habrà que hacer el tratamiento de aproximadamente 4 357,6 toneladas por año de biomasa, lógicamente, esta cantidad de biomasa requiere un amplio espacio de almacenamiento.

El almacenamiento es muy importante, principalmente se ocurre durante un largo periodo de tiempo, porque afecta a la calidad (humedad, poder calorífico, mohos).

No conociendo la densidad de la biomasa de Príncipe después de astillado, se toma un valor de densidad media de las astillas de 0 % de humedad para calcular mínimamente el área de almacenamiento. De acuerdo a (RICARDOCEA MUÑOZ, 2003), la densidad media de astillas secas se sitúa en 421 kg/m³.

Para asegurar el buen funcionamiento de la planta con el suministro de biomasa a la caldera, se ha proyectado un parque de almacenamiento de astillas con capacidad de suministro de 5 días.

Tabla 17. Almacenamiento de la central

consumo diario de la planta	542,6kg/h *24 = 13,022 ton/día con 10% Hbh
Capacidad de almacenamiento	5 días = 65,1 ton/día con 10% Hbh
Área de almacenamiento	27407,1 m³

8.6.3 Sistema de combustión de biomasa

Se ha tenido en cuenta para la selección de la caldera, la potencia útil (de acuerdo al requerimiento de la instalación), producción de vapor, presión de trabajo y temperatura de trabajo.

Para este proyecto, un ejemplo de caldera que se adecua es la caldera de aceite térmico Global – OD del grupo Nova energía, que produce aceite caliente hasta los 300 °C, diseñado

para combustibles sólidos húmedos (hasta 75%) y específicos para producción de energía eléctrica basada en ORC. Todas Las características se describen en el (anexo 1).

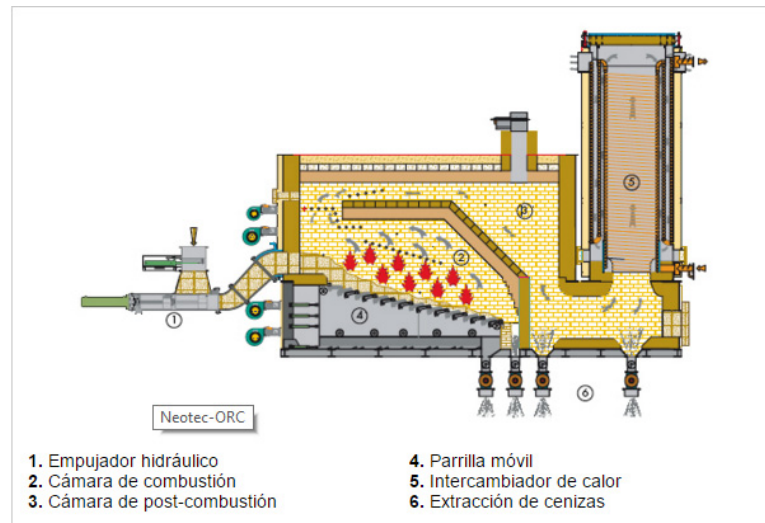


Figura 68. Esquema de la caldera Global – OD

8.6.3.1 Aceite térmico

Como visto anteriormente, hay una vasta gama de empresas y tipos de aceite térmico con características adecuadas para el proyecto. Para este proyecto, se ha adoptado por el Therminol 55 de la empresa THERMINOL, un fluido compuesto por mezclas sintéticas de hidrocarburos que resiste bien a los efectos de oxidación y formación de sólidos. Las características físicas más importantes se resumen en la (tabla 18).

Tabla 18. Características principales del aceite térmico Therminol 55

Temperatura máxima de trabajo °C	315
Punto de ebullición normal °C	351
Temperatura de autoignición °C	366
Viscosidad cinética a 100 (mm ² /s)	3,52
Viscosidad cinética a 40 (mm ² /s)	19
Presión crítica (bar)	13,2
Densidad crítica (kg/m ³)	258

Todas las características del aceite térmico Therminol 55 vienen presentados en el (anexo 2).

8.6.4 Sistema de transformación de energía eléctrica en energía mecánica

Mediante os cálculos para el fluido de trabajo ha conseguido los siguientes paramentos de la turbina.

Tabla 19. Parámetros relativos a la turbina o expansor

Caudal másico (kg/s) de R600	3,604
Presión a la entrada (bar)	50
presión a la salida (bar)	3,75
Temperatura a la entrada (°C)	290 > 150,8 (critica)
Entalpia de entrada (kJ/kg)	1170,1
Entalpia de salida (kJ/kg)	1020,2
Potencia generada turbina kW	540,1

Se trata de una tarea complicada la de escoger una turbina que cumpla con estos parámetros, las empresas que están apostadas en el desarrollo de sistemas ORC normalmente presentan módulos completos de acuerdo a las características de las plantas que se quieren instalar. Son modelos que ya vienen con todos los equipos incluidos para la cogeneración. La empresa TURBODEN por ejemplo ofrece algunos módulos estándar:

- Turboden 6 CHP: alrededor de 600 kW
- Turboden 7 CHP: alrededor de 700 kW
- Turboden 10 CHP: 1000 kW
- Turboden 14 CHP: 1300 kW
- Turboden 18 CHP: 1800 kW
- Turboden 22 CHP: 2.200 kW
- Turboden 30 CHP: cerca de 3.000 kW

Dentro de los módulos ofrecido por la TURBODEN se verifica que el primero es parecido que lo que se pretende en este proyecto.

Hay otras empresas como ENERTIME o CALNETIX también ofrecen módulos estándar ORC, eso demuestra que hay una vasta gama de empresas a la que se puede recurrir para la adquisición del módulo.

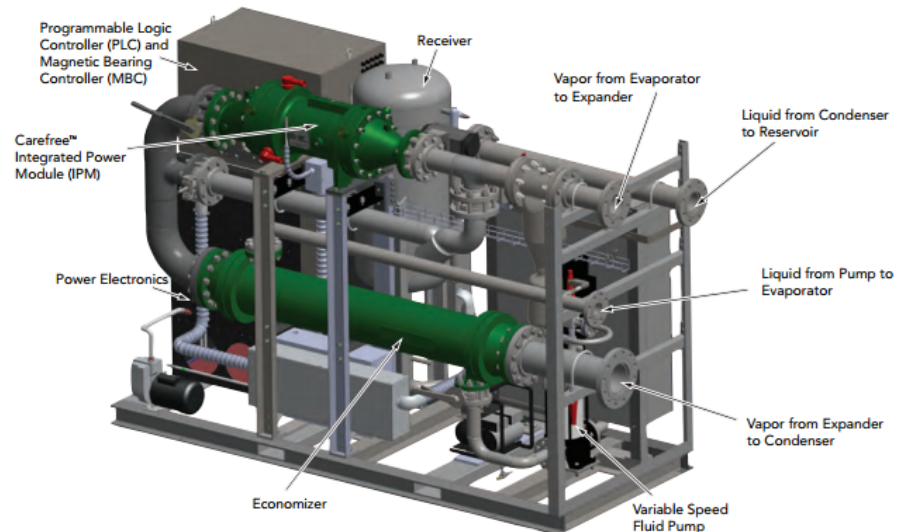


Figura 69. Módulo ORC 125 kW

En la (figura 71) está presentado un pequeño módulo (287 cm, 127 cm, 203 cm) Thermapower de la empresa CALNETIX de 125 kW, funcionando con el fluido orgánico R245a e temperaturas de entrada entre 121 y 177 °C. Como ya referido anteriormente en este proyecto las turbinas adecuadas para ORC son las de desplazamiento positivo, como se confirma en la figura 71 porque son más eficientes.

8.7 Localización

La localización de la planta requiere una serie de condiciones previas: estar cerca de fuentes de agua para el consumo industrial; tener buen acceso y estar próximo de las vías principales; disponer de una red de evacuación cerca, con buen acceso a la red de transporte y distribución para verter la electricidad generada. Las zonas de suministro de biomasa en la isla de Príncipe en relación a los posibles emplazamientos de la planta nunca sobrepasaran los 7 km. Hay dos localizaciones que cumplen con las condiciones anteriores; la primera, junto a la comunidad de “Porto real” a lado del curso del rio Papagaio y un buen acceso terrestre, a unos 3 km de la única central eléctrica de la isla de Príncipe; la segunda junto a la zona de “Oquê do rosario” dentro de la ciudad.



Figura 70. Localizaciones posibles

Las dos localizaciones están junto a la zona de mayor demanda energética (la ciudad de S. Antón).

Las dos localizaciones reúnen condiciones perfectas para el emplazamiento de la futura planta. Se ha escogido la “zona de máximo interés 2” como se la ha designado llamar (1°38′45.02″N 7°25′11.67″E) por un simple motivo, el hecho de que esté cerca del único hospital de la isla. Este motivo ha pesado en la decisión porque en caso de que futuramente se pueda agregar a la planta la capacidad de cogeneración, el hospital sería el principal consumidor del excedente térmico.



Figura 71. Plan de localización de la planta y Hospital

8.8 Necesidad de personal

Para el funcionamiento de la planta habrá una necesidad constante de personal, son personas ligadas únicamente al proceso de producción. A este nivel se requiere un total de 9 funcionarios, que trabajaran 7 días a la semana con dos 2 de descanso a la semana por turnos. El trabajo en una planta de biomasa requiere una polivalencia en las inúmeras tareas a realizar, por eso la contratación de personal centrará en operadores con varios conocimientos en estas tareas o se recurrirá a la formación de personal contratado.

- 1 ingeniero jefe encargado de la planificación de la producción, y de las verificaciones de los productos en la planta, haciendo con que se cumpla todas las normas de seguridad.
- 1 encargado de la sección de suministro de las astillas.
- Encargado del almacén de la biomasa responsable por el almacenamiento y cuidado de la materia prima
- 1 encargado del puesto de control para asegurar el buen funcionamiento de toda la maquinaria.
- 4 funcionarios destinados a tareas de mantenimiento de toda la maquinaria. Que deberán estar disponibles por turnos a las 24 h del día en la planta.
- 1 administrativo que tratará de los contratos, cuentas y todo el proceso administrativo.

9 ESTUDIO DE LOS RECURSOS

9.1 Caracterización de los recursos

La isla de Príncipe se caracteriza por su densa masa forestal y su verde exuberante, que garantiza una gran potencialidad en las variedades de especies con posibilidad de ser usada como biomasa. Mediante un estudio detallado se podrá determinar los valores en términos de cantidades, localización y desplazamiento, con ayuda de herramienta de gestión, técnicas y archivos forestales.

La isla de Príncipe es constituida por una zona ecológica que ocupa aproximadamente 50% del territorio en la parte sur de la isla y que según el capítulo III del artículo 3º de la ley de florestas nº 5/2001, se encuadra en el concepto de “**Parque Nacional**”. Por definición simple, son áreas de dominio público administradas por el departamento forestal que la protege y conserva prohibiendo la tala abusiva de árboles.

9.1.1 Biomasa forestal (residuo forestal)

El último inventario detallado sobre el bosque de Santo Tomé y Príncipe data de 1991, a partir del cual se ha calculado el volumen de madera disponible, y las especies más representativas de los bosques de Santo Tomé y Príncipe. De referir que el volumen hablado se refiere al volumen comercial adecuado, eso es, volumen para trabajos de aserradero, que normalmente va desde la base del árbol hasta al punto donde ya no es rentable económicamente para la madera serrada (Jones, et al., 1991).

Segundo el inventario referido arriba no hay una representación separada de las estimativas de áreas de las dos islas, lo que dificulta mucho el estudio detallado de la isla de Príncipe de forma aislada. Aunque en el mismo informe hace referencia un estudio anterior “*base de datos de potencialidades agrícolas BDPA (1985)*” y este si se refiere a las dos islas detalladamente de acuerdo a los tipos de bosques, pero son estudios tan antiguos que no se encuadran en la totalidad con la realidad de hoy en Santo Tomé y Príncipe. De hecho llegan a la conclusión que hay un recurso explotable de madera comercial de 6.800.000 m³ en las dos islas (Jones, et al., 1991).

En términos forestales según el inventario, Santo Tomé y Príncipe se reparte en tres zonas principales, a saber: bosque primario, conocida localmente como Obô; bosque secundario conocida como capoeira y bosque de sombra.

- **Bosque primario** – zona caracterizada por relieve abrupto y acceso difícil que hace de la misma una zona mayoritariamente casi inalcanzable en términos de recogida

de biomasa. Ocupa una gran área (aproximadamente 70 Km²), la designada “zona ecológica”. Consecuentemente será una zona casi intocable para el suministro de biomasa, salvo en las áreas de plantaciones que sitúan dentro de esta zona o la recogida de residuos forestales derivados del tallado de árboles debidamente autorizada por la dirección de forestal de Príncipe.

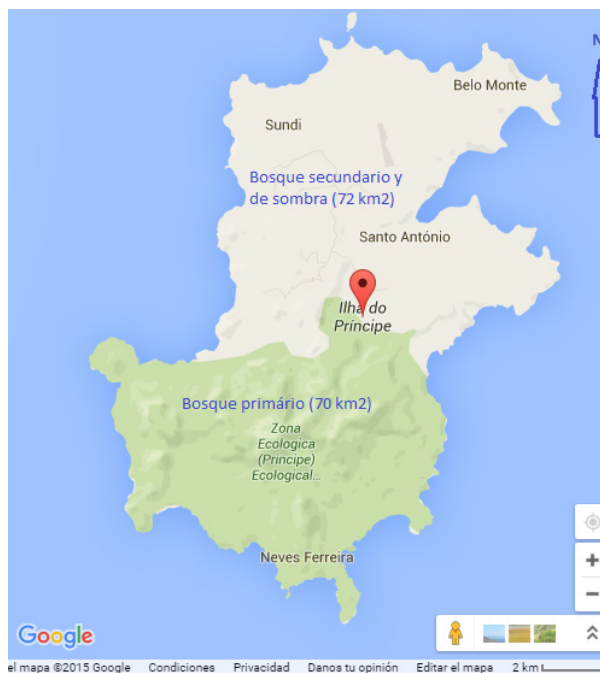


Figura 72. Localización de los bosques primario y secundario y de sombra

• **Bosque secundario y de sombra** – para facilitar la comprensión y porque es de difícil distinción se adoptó juntar los dos últimos tipos de bosques y hacer el estudio de ellos en conjunto. Estos dos tipos de bosque se encuentran sobretodo en pendientes moderadamente pronunciadas y poco o nada pronunciadas de acceso fácil, componen un área conjunta de 72 km² como se presenta en la (figura 74). Hoy sirven en su gran parte de zonas de cultivo agrícola variado, arboles de sombras para los cultivos de cacao café y banana o simplemente bosque. En esta área se encuentra con facilidad especies como: *Milícia excelsa* (amoreira), *Pentaclethra macrophylla* (muandin) *Scytopelatum camerunianum* (viro branco), *Marulhara multinervis* (azeitona), *Cedrela odoratra* (cedrela), *Artocarpus communis* (fruteira-fruta pão), *Artocarpus integer* (jaqueira), *Carapa procera* (go-go), *Elaeis guinnensis* (palmeira), *Ficus sidifolia* (pau figo), *Pycnanthus angolensis* (pau caixão), *Albizzia moluccana* (acacia), *Zanthoxylum gilleti* (marapião), *Chlorophora excelsa*, *Ceiba pentandra*, *Erythrina* (eritrineira).

Los residuos forestales se definen como material de biomasa que se queda en los bosques y que se desecha de la madera, son casi idénticos a los aclareos forestales. Los residuos

forestales incluyen la talla, madera muerta, pueden ser recogidos después de una cosecha y ser utilizados para fines energéticos. En general, los residuos forestales son dejados en los bosques o son gestionados por programas de manejo forestal. La ventaja que se puede tirar de estos residuos es que se mantiene los bosques limpios y se les utiliza para generar energía, utilizando una materia prima que estaría destinada al desperdicio y ensuciando la mata.

La zona de bosque secundario (bosque de sombra), será la que suministrará mayor parte de la biomasa necesaria para la planta. De allí se aprovechará principalmente los residuos provenientes de las podas de plantaciones existentes de, residuos de productos agrícolas más presentes (cáscara de cacao, cáscara de semilla de cacao cáscara de café, cáscara de coco, cáscara de semilla de palma, limpieza de bosques, residuos de la industria maderera existente).

Tanto las podas comoclareos, son operaciones destinadas a mejorar las masas de modo a permitir un mayor y mejor desarrollo de la masa y fomentar la auto protección de las especies frente a los riesgos de enfermedades o plagas, por eso no hay como competir con otros usos como el maderero, por eso se puede considerar biomasa de restos.

Tabla 20. Poderes caloríficos de las biomásas provenientes de bosque secundario y de sombra. Adaptado de (Oliveira Ferreira, 2013)

Poderes caloríficos inferiores base seca (kJ/kg)	
Cultivos leñosos	17000 - 18500
Madera blanda	17514 - 20768
madera dura	17514 - 21300
Cultivos herbáceos	16909 - 18097

Debido a gran sensibilidad de la isla en términos ambientales, la pequeña dimensión del territorio, porque Príncipe es patrimonio mundial de la biosfera y porque se pretende que la isla sea un modelo para los países de la zona del golfo de Guinea en términos de sostenibilidad y de respeto por la naturaleza, todo el proceso de recogida de residuo de biomasa, sea de bosque o de las plantaciones agrícolas será hecho en conjunto con la departamento de forestas de Príncipe, respetando sus reglas y directrices para lograr un proceso ideal reconocido principalmente por los habitantes.

9.1.2 Biomasa agrícola

De una forma general en Príncipe hay un cultivo principal (cacao) que viene desde el tiempo colonial, a lo largo de estos años se fue manteniendo pero con muchos altos y bajos, al inicio

del milenio un inversor extranjero adquirió una antigua granja en la parte centro sur de la isla (Roça Terreiro velho),⁶ la restauró y dio continuidad a la plantación de cacao y ha innovado con la producción de chocolate. Más recientemente en otra comunidad y con características más grandes y que en sus años dorados fue la de mayor producción de cacao en Príncipe (Roça Sundy), zona centro norte, fue también intervenida por otro inversor dinamizando y rentabilizando la producción de cacao. Hay también otra granja de cultivo de cacao (Roça Paciencia) que también es una producción de referencia en la isla de Príncipe y también dirigida por inversión extranjera. São Joaquim es una granja de producción de aceite de palma que podrá suministrar a la planta el cuesco de palma de aceite. Estas cuatro grandes producciones en conjunto con otras pequeñas parcelas de tierra que también se dedican a la producción de cacao en príncipe y son las que podrán de alguna forma entrar en el proyecto forneciendo todos los residuos agrícolas recurrentes de las plantaciones de cacao adecuados a la planta. São Joaquim es una granja de producción de aceite de palma que podrá suministrar a la planta el cuesco de palma de aceite.

No hay información sobre cuanta área ocupan las plantaciones en la isla de Príncipe pero se puede hacer una estimación partiendo principalmente de las cuatro mayores producciones habladas anteriormente. Mediante herramientas del google Earth se ha estimado el área de los cuatro cultivos en aproximadamente 12 km². Hay pequeñas parcelas de tierra pertenecientes a pequeños agricultores del cual no se consigue estimar a partir de la herramienta del google pero que se propone de unos 4 km² aproximadamente. En total, se estima en alrededor de 16 km² el área de cultivo de la isla.

⁶Roça – antiguas heredades que pertenecían a los portugueses, con plantaciones de cacao y café principalmente. Hoy pertenecen al gobierno o personas particulares que hacen la explotación de las mismas plantaciones y/o otras.



Figura 73. Estimación del área de cultivo

9.1.2.1 Cáscara de cacao y de semilla de cacao

Planta nativa de bosques ecuatoriales, pertenece a la familia *esterculiaceae*, especie *teobroma cacao*. Contiene al-rededor de 50 semillas envueltas por una cáscara gruesa pero no muy dura que se rompe con facilidad si le aplica unos golpes con una superficie dura.



Es una especie que vive más de cien años y empieza a dar frutos a partir del tercer año pero solo alcanza la máxima producción algunos años más tarde (unos 4,5 años), manteniendo esta producción hasta alrededor de los 30 años (Oliveira Ferreira, 2013). Es una planta que se adapta bien a las condiciones de temperaturas de Santo Tomé y Príncipe, clima tropical, caliente y húmedo.

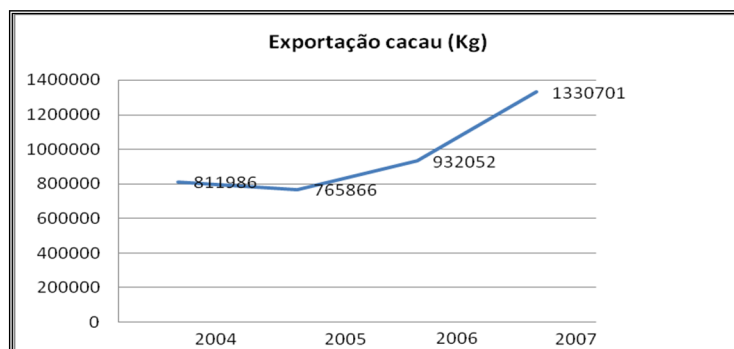


Figura 74. Evolución exportación de cacao en STP. (Direção de comércio, Ca. 2009)

En las variedades de cacao existentes en Príncipe, la cáscara compone la mayor fracción de masa del cacao (alrededor del 80%), siendo que las semillas ocupan los otros 20 %. De los 20 %, aproximadamente 6% son cáscara de la semilla. Lo que hace que una porción 86 % no tenga ningún valor comercial (Oliveira Ferreira, 2013) como resumido en la tabla siguiente.

Tabla 21. Resumen de características físicas de fruto de cacao (CAMELO MORORÓ, 2012)

Componentes	Peso (g)	% en relación al peso del fruto
Fruto	500	100
Casca del fruto	400	80
Semilla fresca	100	20
Semilla seca (Almendra)	50	10

Fuente: (CAMELO MORORÓ, 2012).

Por lo tanto, viendo la tabla anterior, por cada kg de cacao seco producido, hay 4 kg de biomasa disponible para su aprovechamiento energético.

El cacao es un producto que aún hoy representa cerca del 93% (3 000 ton) (GORJÃO HENRIQUES, 2014) del valor total de las exportaciones de STP en 2014, representando también la mayor cantidad del empleo en el sector agrícola. Por lo que 3000 ton/año corresponden con 12000 ton/año con una humedad media del 50% bh, que de recogerse completamente sería suficiente para alimentar la planta de generación eléctrica con ORC. Pero hay que tener en cuenta que la producción de 3000 ton al año es una producción de las dos islas Santo Tomé y Príncipe.



Figura 75: Fracción de cacao, corte transversal y longitudinal

9.1.2.2 Otros cultivos producidos en Príncipe

El cultivo de otras especies sigue en proporciones menores, como es el caso del café, coco, palmera (palma), caña y otros productos que son susceptibles de suministrar biomasa residual como es el caso de los árboles muertos. Estas producciones fueron tenidas en cuenta porque además de la producción en sí de este producto, hay una serie de trabajos auxiliares como la limpieza adecuación del terreno para mejorar la producción, que normalmente se caracteriza por la limpieza del bosque, poda de las propias plantas y poda de las árboles de sombra, estos procesos culminan con acumulación de biomasa residual. En la (figura 78) están presentados las cuatro cultivos mencionadas anteriormente.



Figura 76. Presentación de: (A) Cáscara de coco, (B) Cáscara de café, (C) Semilla de palma, (D) Bagazo de caña

En la (tabla 22) se muestra el poder calorífico de algunos tipos de biomasa de la isla de Príncipe.

Tabla 22. Poder calorífico superior para distintas fuentes de biomasa

Biomasa	(MJ/kg)
Carbón coquizado	25 a 32
Madera	10 a 20
Cáscara de Coco	18 a 19
Paja	14 a 16
Cáscara de Café	16
Tallos de Algodón	16
Cáscaras de cacao	13 a 16
Cuesco de Palma de Aceite	15
Cáscara de Arroz	13 a 14
Tallos de Maíz	13 a 15
Aserrín	11
Pellet de aserrín	20,5
Pellet de madera	20,3

Adaptado: de (ANDRÉS FORERO NÚÑEZ, et al., 2012).

9.2 Localización de puntos de máxima concentración de biomasa

Teniendo en cuenta que la biomasa a utilizar provendrá de los residuos agrícolas, derivados de las plantaciones principalmente de cacao, coco, y de residuos de la poda de los bosques, la localización de los puntos de máxima concentración es un factor de importancia extrema. La organización de esta logística optimiza el plan de desplazamiento a estos puntos para que el aporte de biomasa a la planta sea continuo y en cantidades requeridas. Como se puede verificar en la (figura 79), los puntos de máxima concentración (pinchos rojos) coinciden con las zonas donde están las plantaciones referidas anteriormente y se aprovecharán también como puntos de recogida de la biomasa residual proveniente de la poda de bosques.

El método usado para discriminar estos puntos fue a través de la uniformización de la isla en términos de biomasa, intentando una distribución lógica de los puntos de recogida, teniendo en cuenta también la accesibilidad de estos locales. El hecho de que geográficamente la única ciudad de Príncipe (Santo António) tenga la mayor demanda por estar en el centro de estos cuatro puntos, nos indica más o menos donde se instalará la planta piloto. Toda la biomasa a recoger en la isla será primeramente desplazada a estos centros dependiendo de la proximidad con estos puntos y solo después trasladada a la planta.



Figura 77. Localización de los puntos de máxima concentración de biomasa

El traslado de la biomasa de los puntos de máxima concentración hasta la planta tendrán distancias distintas siendo la Roça Sundry y Terreiro velho los desplazamientos más largos.

Tabla 23. Distancias entre los puntos de máxima concentración de biomasa y planta Piloto

Distancias hasta la planta (km)	
Roça Tereiro Velho	7,2
Roça Paciência	4,21
Roça São Joaquim	9
Roça Sundry	7,2

9.2.1 Áreas de biomasa aprovechable

Se conoce el área total de la isla (142 km²) y se sabe que la mitad sur de la isla hace parte de la zona ecológica (72 km²). Los restantes 70 km² se clasifican como área aprovechable, dentro de esta área están las áreas del cultivo de la roça Terreiro Velho, roça Sundry, roça Paciência y roça Sam Joaquim. El área de cultivo de las cuatro mayores plantaciones de príncipe fue calculada con ayuda de la herramienta Google Earth como se muestra en la (tabla 24).

Tabla 24. Área de las grandes plantaciones en Príncipe

Área de las plantaciones		
	km2	Hectáreas
Paciência	2,145	214,5
Sam Joaquim	0,624	62,4

Sundy	2,931	293,1
Terreiro Velho	1,915	191,5
Área aproximada de la ciudad	4	400
Total	11,615	1161,5

El área total de bosque se ha estimado en aproximadamente 50 km², descontando al área aprovechable (70 km²) el área de los cultivos, de la ciudad y de otras.



Figura 78. Área de las plantaciones

9.3 Evaluación de potencial de aprovechamiento de biomasa

La biomasa agrícola tendrá una logística de recogida que vendrá de acuerdo a la gestión de los agricultores.

Partiendo de datos del subapartado 9.1.2 se puede desglosar con pequeños cálculos estimativos la cantidad de cascara de cacao que se puede producir anualmente en Príncipe.

La exportación anual de cacao en STP fue de 3 000 toneladas. No se tiene datos del aporte de Príncipe en esta exportación, pero se estima unos 35 % debido a la gran potencialidad de la “roça terreiro velho” por mano del empresario Claudio Corallo. De esta forma, se tiene:

$$35\% \text{ de } 3000 \text{ ton} = 1050 \text{ ton}$$

Se sabe que la cáscara compone la mayor fracción de masa del cacao (alrededor del 80%), siendo que las semillas ocupan los otros 20 %. eso hace que un total de 80 % de la masa total

de cacao esté compuesto por cascara. Si se consigue exportar 1050 toneladas de semilla de cacao, entonces:

$$1050 \text{ ton} = 20\%$$

$$5250 \text{ ton} = 80\%$$

Este residuo llegará a la planta con humedad alrededor de 80%, distinta de la pretendida (10%), por eso:

$$\dot{m}_f(h)80\% Hbh = \dot{m}_f(h)10\% Hbh \cdot \frac{1 - 0.1}{1 - 0.8}$$

$$5250 \text{ ton} = \dot{m}_f(h)10\% Hbh \cdot \frac{1 - 0.1}{1 - 0.8}$$

$$\dot{m}_f(h)10\% Hbh = 1\,166,7 \text{ ton}$$

Siguiendo esta producción anual, se tendrá un suministro de biomasa proveniente de la cascara de cacao de 1 166,7 Ton/año con 10% de humedad (base húmeda). Eso garantizará a la planta un suministro total de 26,8 % de la biomasa necesaria.

Con la falta de información bibliográfica sobre cantidades de biomasa forestal, lo que se hizo fue consultar toda la bibliografía existente sobre la biomasa de los países africanos tropicales, de hecho según (FAO - Montes140, 2002) y (BROWN, 1997) en el artículo en FAO – Food and agriculture Organization of the United Nations, en esta región la densidad de biomasa es 135 Ton/ha, tomando como base la vecina Guinea Ecuatorial. A partir de estos valores y conociendo la área total de la isla (142 km²), se puede hacer pequeños cálculos para determinar la biomasa de toda la isla.

$$\text{Área total} = 14200 \text{ km}^2$$

$$A. \text{aprovechable} = A. \text{total} - A. \text{zona ecológica} - A. \text{cultivos} - A. \text{ciudad} - A. \text{Otras}$$

$$\text{Área aprovechable} = 142 \text{ km}^2 - 72 \text{ km}^2 - 12 \text{ km}^2 - 6 \text{ km}^2 - 7 \text{ km}^2$$

$$\text{Área aprovechable} = 45 \text{ km}^2$$

$$\text{Área aprovechable} = 4\,500 \text{ ha}$$

$$\text{Biomasa aprovechable de la isla} = 4\,500 \text{ ha} \times 135 \text{ Ton/ha}$$

$$\text{Biomasa aprovechable de la isla} = 607\,500 \text{ Ton}$$

Un total de 607 500 toneladas de biomasa distribuida por toda la mitad norte de la isla. Se asumirá un suministro de la planta con biomasa forestal proveniente de cada una de las cuatro zonas comentadas en el apartado anterior.

Por la falta de datos sobre la cantidad de biomasa disponible en Príncipe anualmente, se ha buscado una estimación a partir de la comparación con la provincia de León, la más productiva en términos de biomasa forestal residual susceptible de aprovechamiento según (SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO RURAL Y AGUA, 2010). La provincia de León según el documento referido tiene una biomasa residual forestal potencialmente aprovechable de 502 113 Ton/año repartido por una superficie aprovechable de 293 760,2 ha, lo que representa aproximadamente 2,2 Ton/ha por año. Partiendo de este valor y sabiendo previamente que la floresta de Príncipe es una floresta tropical con una densidad arbórea mayor la que la de la provincia de León, se estima la biomasa residual disponible en Príncipe en:

$$\text{biomasa anual forestal residual disponible} \left(\frac{\text{ton}}{\text{año}} \right) = 2,2 \left(\frac{\text{ton}}{\text{ha}} \right) \cdot 4500 \text{ ha}$$

$$\text{biomasa anual forestal residual disponible} = 9900 \text{ ton/año}$$

Esta biomasa llegará con un 50% de humedad y habrá que reducirla hasta los 10%, condición necesaria para la entrada en la caldera, se tiene:

$$\dot{m}f(h)50\% Hbh = \dot{m}f(h)10\% Hbh \cdot \frac{1 - 0.1}{1 - 0.5}$$

$$9900 \frac{\text{ton}}{\text{año}} = \dot{m}f(h)10\% Hbh \cdot \frac{1 - 0.1}{1 - 0.5}$$

$$\dot{m}f(h)10\% Hbh = 5500 \frac{\text{ton}}{\text{año}} \text{ con } 10\% Hbh$$

Con esta cantidad de biomasa anual ya se consigue cubrir la necesidad anual de la planta estimada en 4 357,6 Ton/año con 10% humedad (base humedad).

La biomasa total anual disponible estimada fue:

$$\text{Biomasa anual residual agricola disponible (cascara de cacao)} = 1166,7 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

$$\text{biomasa anual forestal residual disponible} = 5500 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

$$\text{biomasa residual total} = 6666,7 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

$$6666,7 \frac{\text{ton}}{\text{año}} > 4357,6 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

Se consigue garantizar la necesidad anual de la planta con un excedente de 2 309,1 Ton/año con 10% de humedad (base humedad).

10 CONCLUSIÓN

La realización de un proyecto como este tiene implicaciones variadas:

En términos técnicos, la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables en la Isla de Príncipe representa una novedad para el país (Santo Tomé y Príncipe), el aprovechamiento de recursos de biomasa para la producción de energía renovable hace que el país empiece a considerar nuevas formas de producción de energía y dependa menos del combustible fósil, resaltando el aumento de la potencia instalada en la Isla de Príncipe.

Las plantas ORC son una realidad, cada vez más las empresas están a lo largo del tiempo desarrollando técnicas para aumentar el rendimiento de esta tecnología.

Las conclusiones obtenidas con el estudio del ORC, destacando el hecho de la mayor aproximación posible con la realidad, culmina con el dimensionamiento óptimo de la planta, con uso del fluido orgánico R600 (Butano) que a condiciones supercríticas establece un rendimiento eléctrico de 27,1%. En las condiciones propuestas el fluido referido es el ideal porque adicionalmente al hecho de tener tan buenos rendimientos, es un fluido disponible en Santo Tomé y Príncipe. Con estas características, el consumo de biomasa se estima en 4 357,6 toneladas por año y el recurso total de biomasa (residuo agrícola y residuo forestal) es de aproximadamente 6 666,7 toneladas/año, cantidad que garantiza la necesidad de la instalación.

De acuerdo a los resultados técnicos mencionados, se concluye que hay viabilidad técnica para la instalación de la planta piloto.

En términos económicos hay que tener en cuenta la inversión requerida para la instalación de la planta ronda valores próximos a 3,4 Millones de euros, valores estos que debido a la coyuntura económica en que se vive puede provocar algún mal-estar en las entidades bancarias y empresas financiadoras. No obstante la planta proporcionará el Pay Back al fin de 10 años con una TIR de 9% y VAN de 6,1 Millones de euros.

Medioambientalmente es muy aceptable, sin grandes impactos y con beneficios socioeconómicos para la isla en términos de generación de empleo, limpieza de la masa residual muerta de los bosques y uso del residuo agrícola.

Ejecución realización de este proyecto demarca un posicionamiento de la isla en relación a sus compromisos con la protección ambiental y consolida su posición relativamente al estatuto de reserva mundial de la biosfera.

Estudio de factibilidad para la instalación de una planta piloto para la generación de energía eléctrica con biomasa en la isla de Príncipe (R. D. de Santo Tomé y Príncipe)

DOCUMENTO 2: ESTUDIO ECONÓMICO

11 ESTUDIO ECONOMICO

11.1 Introducción

En este apartado, el objetivo es la descripción de los modelos económicos del proyecto. Será analizada la inversión del proyecto, describiendo los distintos conceptos, aprovechando para realizar un presupuesto con indicación de los ingresos y costes.

Como en cualquier otro proyecto de este tipo, habrá dos clases de costes en la planta:

- Los que serán gastos por el propietario de la planta en bienes y servicios consumidos después de que la planta esté en funcionamiento. Son gastos cubiertos por los ingresos y en ella estarán incluidos los suministros para la instalación (incluida biomasa) y operación y mantenimiento.
- Los otros serán aquellos en que se incurrirá los equipos con utilidad duradera y que tienen la característica de producir ingresos en el futuro: el dinero gasto en la construcción de la planta. Los ingresos que Tendrán la planta no pagaran automáticamente este gasto porque raramente son suficientes para cubrir grandes inversiones y la planta y sus equipos son proyectados para un servicio a largo plazo.

El capital invertido es asociado a los costes fijos mientras que los gastos son los costes con personal, y operación y mantenimiento.

Independientemente de la energía producida por la planta por año, habrá un coste asociado a la misma, esos serán los costes fijos, donde se incluyen todos los gastos proporcionales al capital invertido en la planta, son ellos: los impuestos, póliza, de seguro, depreciación y retorno sobre la inversión.

11.2 Inversión

La inversión es un concepto obligatorio en un estudio económico de proyectos de este estilo. Para evaluar la aplicación de fondos necesarios para la ejecución de proyectos abajo esta discriminada las partes representativas de la inversión:

- Desarrollo del proyecto, licencias de propiedad del terreno y contratos.
- Obra civil.
- Sistema de potencia (ORC).

- Sistema de aceite térmico.
- Maquinaria auxiliar.
- Instalación eléctrica.
- Seguros y comisiones de instalación.
- Dirección del proyecto.

Para hacer el presupuesto de cada una de las partes mencionadas anteriormente, se ha basado en ofertas reales existentes en el mercado estudiando algunos proyectos de la misma dimensión en la actualidad. Para sustentar también el proyecto, se ha tomado como referencia el artículo de (IRENA - International Renewable Energy Agency, 2012) que hace análisis del coste de las tecnologías de conversión de biomasa en energía eléctrica.

De resaltar que en este apartado infelizmente no se ha podido hacer referencia a la biomasa de la isla debido a las dificultades inherentes a falta de información detallada sobre la biomasa de la isla. De hecho se hará el estudio tomando de partida los precios practicados en Europa adecuando el mismo a la realidad de STP y conocimiento de la realidad del mercado.

Desarrollo del proyecto, licencias de propiedad del terreno y contratos

Total	170.000 €
-------	-----------

Obra civil

Total	200.000 €
-------	-----------

Sistema de potencia (ORC)

Potencia	O'Connor 2011 (3 555€/kW)
500 kW	1.777.500 €

Fuente: (IRENA - International Renewable Energy Agency, 2012)

Sistema de aceite térmico

Total	160.000 €
-------	-----------

Maquinaria auxiliar

Astilladora fija	60.000 €
Camiones x 2	170.000 €
Equipos de tratamiento biomasa en campo	160.000 €
Palas cargadoras x 2	200.000 €
Secador trómel	170.000 €
Total	760.000 €

Otros sistemas auxiliares (tuberías, válvulas, soporte, aislamiento)

Total	80.000 €
--------------	-----------------

Instalación eléctrica

Total	30.000 €
--------------	-----------------

Seguros y comisiones de instalación

Total	15.000 €
--------------	-----------------

Dirección del proyecto

Total	15.000 €
--------------	-----------------

Agrupando las partes anteriores e incluidas el campo “imprevisto”, porque, se tratará de la instalación de una planta piloto en una isla sin ninguna experiencia en proyectos de este tipo, se asume un 2% del total de la inversión para este campo. Cuanto al costo de operación se toma un 3,5 % del coste de la inversión basando en (IRENA - International Renewable Energy Agency, 2012)

INVERSIÓN NECESARIA (€)	
Producto/concepto	Valor
Desarrollo del proyecto	170.000 €
Obra civil	200.000 €
Sistema de potencia ORC	1.777.500 €
Sistema aceite térmico	160.000 €
Maquinaria auxiliar	750.000 €
Otros sistemas auxiliares	80.000 €
Instalación eléctrica	30.000 €
Seguros y comisiones de Instalación	15.000 €
Dirección del proyecto	15.000 €
Subtotal	3.197.500 €
Operación y mantenimiento (+3,5)	111.913 €
Imprevisto (+2%)	63.950 €
Total	3.373.363 €

Como se constata en la (figura 81), la inversión principal está en el sistema de potencia (ORC) que absorbe más de mitad de la inversión inicial seguido de las maquinas auxiliares de apoyo a la producción de la planta.

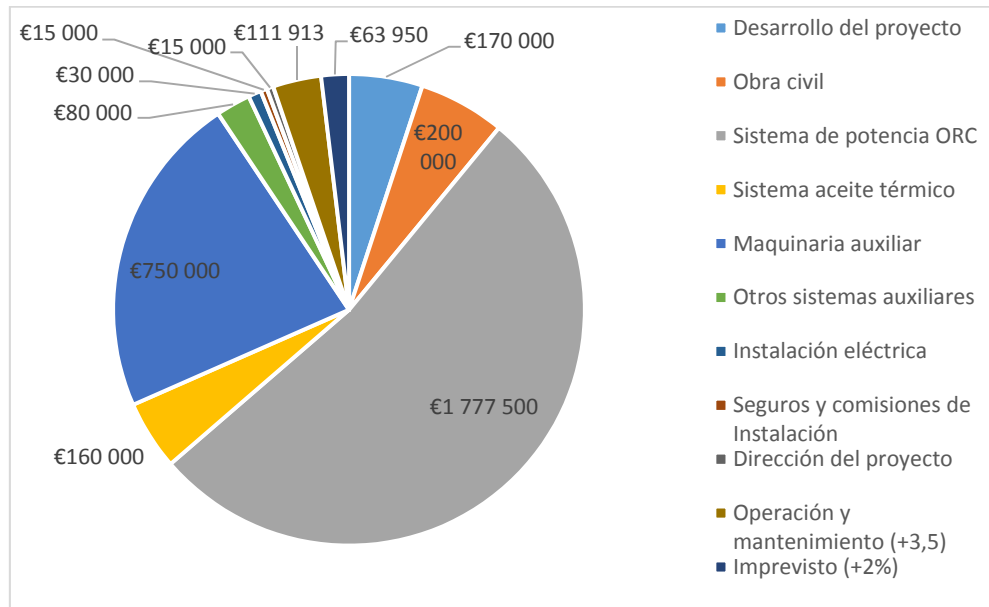


Figura 79. Costes de inversión

11.3 Ingresos y gastos (evaluación)

La planta tendrá una vida útil de 30 años, durante estos años proporcionará unos ingresos y gastos que serán estimados por una periodicidad anual. En el año cero del proyecto existirá un desembolso inicial de 3 373 363 €, a partir allí, en los años siguientes habrá ingresos por venta de electricidad y gastos. A la diferencia entre estos ingresos y gastos en la periodicidad anual se llama *cash flow* (flujo de caja).

11.3.1 Costes operativos

En este apartado vendrán calculados los costes de operación y mantenimiento, costes de personal y gastos financieros y el coste de obtención del combustible (biomasa).

Coste de operación y mantenimiento

Según (IRENA - International Renewable Energy Agency, 2012), el coste de operación y mantenimiento está entre 3,38 y 4,18 €/MWh.

- Potencia de la planta 500 kW
- La planta trabajará 22h/día

$$4 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \times 4015 \frac{\text{MWh}}{\text{año}} = 18\,067,5 \text{ €/año}$$

Coste de la biomasa

El precio de la biomasa se calcula para estimar el valor a pagar a los agricultores por la biomasa que se aportaran a la planta y para saber cuánto se gastará con la biomasa proveniente del residuo de poda de los bosques de la isla de Príncipe.

Como no se consiguió estimar las cifras de biomasa suministradas por los agricultores, se asumirá que toda la biomasa suministrada a la planta tendrá un valor único de compra 0,02 €/kg.

La biomasa llegará a la planta con una humedad aproximada de 50% y se reducirá a unos 10%. Esta reducción de humedad tendrá que ser llevada en cuenta negativamente en el precio de la biomasa. La biomasa a parte de la reducción de humedad, sufrirá otros tratamientos después de llegar a la planta, eso supondrá la imputación de un coste de tratamiento 6 €/toneladas. A parte del coste de tratamiento, se imputará también el coste de transporte 8 €/toneladas basado en (IRENA - International Renewable Energy Agency, 2012). El coste de transporte de la biomasa en la isla de Príncipe no será tan alto debido que las distancias son bastante más reducidas que los casos considerados por (IRENA - International Renewable Energy Agency, 2012), por eso se ha reducido este coste hasta los 4 €/ton

→ Consumo anual de biomasa 4 357,6 ton/año

$$\text{Precio} \left(\frac{\text{€}}{\text{ton}} \right) = C. \text{ compra} + C. \text{ Transporte} + C. \text{ Tratamiento}$$

$$\text{Precio} \left(\frac{\text{€}}{\text{ton}} \right) = (0,02 \times 1000) + 4 + 6$$

$$\text{Precio} = 30 \frac{\text{€}}{\text{ton}}$$

$$C. \text{ biomasa anual} = \text{Consumo anual} \times \text{Precio}$$

$$C. \text{ biomasa anual} = 4\,357,6 \left(\frac{\text{ton}}{\text{año}} \right) \times 30 \left(\frac{\text{€}}{\text{ton}} \right)$$

$$C. \text{ biomasa anual} = 130\,728 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

En términos energéticos el precio de la biomasa será de:

$$\text{Precio} \left(\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right) = \frac{\text{Coste biomasa anual}}{\text{potencia electrica}}$$

$$\text{Precio} \left(\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right) = \frac{130\,728 \left(\frac{\text{€}}{\text{año}} \right)}{4015 \left(\frac{\text{MWh}}{\text{año}} \right)}$$

$$\text{Precio} = 32,56 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$$

Costes del seguro periodo de operación

Plantas de este género tienen que protegerse con seguros para eventualidades, durante el periodo de construcción fue imputado un seguro que corresponde al periodo de construcción. Durante el tiempo en que la planta estará en funcionamiento habrá que haber un seguro, la misma será anual con un valor de 1% del coste de la inversión inicial (IRENA - International Renewable Energy Agency, 2012).

$$C. \text{seguro operación} = 0,01 \times 3\,373\,363 = 33\,733,63 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Otros costes

Coste con personal será un gasto que supone 1% de la inversión total, supondrá:

$$C. \text{con Personal} = 0,01 \times 3\,373\,363 = 33\,733,63 \text{ €/año}$$

Total de costes

$$\text{Total } C. \text{ Anual} = C. \text{ com biomasa anual} + C. \text{ OM} + C. \text{ Seguro} + O. \text{ Costes}$$

$$\text{Total } C. \text{ Anual} = 130\,728 + 18\,067,5 + 33\,733,63 + 33\,733,63$$

$$\text{Total } C. \text{ Anual} = 216\,226,3 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

11.3.2 Ingresos

La única fuente de ingresos que se esperará a partir de la planta son las obtenidas con la venta de energía eléctrica.

Para el cálculo de los ingresos que serán proporcionados por la planta, se consideran la potencia de la planta (500 kW), el número de horas de funcionamiento de la planta (8030 h/año) y precio medio de la electricidad en Santo Tomé y Príncipe que se fija en 4 525 STD/kWh (Ministerio de Los Recursos Naturales y Medio Ambiente), equivalente a 0,184 EUR a la fecha de 8 de Noviembre de 2015. Los ingresos son calculados de la siguiente forma:

$$\text{Ingresos} \left(\frac{\text{€}}{\text{año}} \right) = 4\,015\,000 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{año}} \right) \times 0,184 \left(\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right)$$

$$\text{Ingresos} = 738\,760 \left(\frac{\text{€}}{\text{año}} \right)$$

Teniendo en cuenta el precio alto de la electricidad en STP, se consigue unos ingresos anuales bastante razonables de 738 760 €/año.

11.2 Financiación

Normalmente en este tipo de proyectos, es fundamental que vengan con un estudio de viabilidad bien definido para que cuando se solicite dinero, las entidades financieras puedan percibir y hacer sus gestiones. Son proyectos que suelen ser financiados por entidades externas con un alto porcentaje, sean entidades de créditos o públicas por medio de subvenciones. En este proyecto, se espera que un 80 % sea por fondos externos y los otros 20% serán por fondos propios.

$$\rightarrow \text{inversión} = 3\,373\,363 \text{ €}$$

$$\text{Fondos externos} = 0.8 \times 3\,373\,363 = 2\,698\,690,4 \text{ €}$$

$$\text{Fondos propios} = 0,2 \times 3\,373\,363 = 674\,672,6 \text{ €}$$

La financiación externa de este proyecto podrá venir de muchas vías, una de ellas es el *project finance*.

El *project finance* es un modelo que normalmente es usado para proyectos con inversiones altas como por ejemplo del sector de las telecomunicaciones y Energía. Últimamente proyectos eléctricos que dependan de sectores públicos está recurriendo a este mecanismo. Es un sistema que se basa en contratos entre diversos participantes, para asegurar a la rentabilidad del mismo y la capacidad del proyecto en generar flujos de caja que puedan atender a la devolución de los préstamos.

El aumento de grandes inversiones en infraestructuras en comunión con la tendencia de los gobiernos a reducir sus niveles de presupuestos ha sido punto de partida para el desarrollo de este tipo de financiamiento. *Project finance* permite a la administración pública y las empresas privadas emprender proyectos cuya inversión en capital es muy alta.

Las entidades de crédito evalúan el proyecto y, si el proyecto es adecuado, financiarán la sociedad sin exigir ninguna garantía, esperando que el proyecto sea capaz de devolver la deuda y los intereses correspondientes.

Algunas características básicas del *project finance*:

- Acuerdo inicial para proporcionar fondos necesarios para construir y ejecutar el proyecto.

- Un acuerdo normalmente del producto obtenido en el proyecto, que asegure al iniciar la producción, el proyecto tenga suficiente efectivo para cubrir sus costes u obligaciones.
- Acuerdo que asegure y garantice que, si de alguna forma el proyecto tenga algún problema a la hora de generar efectivo, los fondos que serían necesario para reactivar el dicho proyecto estén disponibles.

Es una forma de financiación que presenta muchas ventajas:

Para el promotor

- Mayor capacidad de endeudamiento cuando se excede la capacidad de fondos propios y/o de financiación bancaria tradicional.
- Plazos más largos de financiación.
- No compromete otros negocios.
- Reduce el coste de capital del proyecto.

Para la entidad financiera

- Diversifica su riesgo.
- Demarca claramente el riesgo de la inversión.
- Realiza un seguimiento profundo de cada uno de los proyectos.

Características del proyecto para el préstamo:

- Características del préstamo, financiación 80/20
- Inversión inicial total: 3 373 363 €
- Fondos propios: 274 672,6 €
- Fondos externos (préstamo): 2 698 690,4 €
- Tipo de interés: 8%
- Devolución del préstamo: 20 años

11.3 Análisis económico

La diferencia entre entradas y salidas de efectivo durante la vida de funcionamiento de la planta es el flujo de caja. Es un indicador fundamental de la liquidez de la planta analizando la rentabilidad de la inversión.

Para el análisis económico del proyecto se ha considerado algunas condiciones:

- Inversión inicial del proyecto: 3 373 363 €.
- El periodo de contrición de la planta se ha estimado en 1 año.

- Tiempo de vida de la planta: 30 años
- La amortiguación: Devolución del préstamo en 20 años.
- Impuesto de sociedad se establece en un 25% ya que la cifra de negocio es inferior a 5 000 000 € y plantilla inferior a 25 trabajadores (**Centre Gestió, 2014**).
- Incremento del 1,5% anual en el precio de compra de la electricidad. Este valor se toma en consideración debido a la evolución del precio de la electricidad y del consumo de la misma en los últimos 10 años en STP.
- Tasa de descuento de 6% por ser la que normalmente se usa en proyectos de esta característica.

Mediante las condiciones dispuestas, se ha elaborado un análisis y obtenido el cash flow (flujo de caja) para los 30 años de vida de la planta. Cash flow acumulado para un año es la suma de todos los flujos de caja de los años anteriores e del año considerado.

Para la obtención del valor anual neto (VAN) y de la tasa interna de retorno (TIR), que ha servido para determinar la conveniencia de la ejecución del proyecto, ya que son parámetros que indican la viabilidad de los proyectos basando en las estimaciones de los flujos de caja, se ha usado el flujo de caja financiero visto que el desembolso inicial ser tan elevado que obliga a que la realización del proyecto sea con financiación externa.

Año	Inversión	Ingresos	Coste Operación	Coste biomasa	Coste seguro operación	Otros costes	Amortización	BAT	Impuestos	Resultado neto	Cash Flow
2016	-3373363										-3373363,0
2017		749841,4	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6	-168668,2	364919,5	-91229,9	273689,6	-3099673,4
2018		761089,0	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6	-168668,2	376167,1	-94041,8	282125,3	-2817548,1
2019		772505,4	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6	-168668,2	387583,4	-96895,9	290687,6	-2526860,5
2020		784092,9	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6	-168668,2	399171,0	-99792,8	299378,3	-2227482,3
2021		795854,3	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6	-168668,2	410932,4	-102733,1	308199,3	-1919283,0
2022		807792,1	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6	-168668,2	422870,7	-105717,6	317152,7	-1602130,3
2023		819909,0	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6	-168668,2	434987,1	-108746,8	326240,3	-1275890,0
2024		832207,7	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6	-168668,2	447285,7	-111821,4	335464,3	-940425,7
2025		844690,8	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6	-168668,2	459768,8	-114942,2	344826,6	-595599,0
2026		857361,1	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6	-168668,2	472439,2	-118109,8	354329,4	-241269,6
2027		870221,6	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6	-168668,2	485299,6	-121324,9	363974,7	122705,1
2028		883274,9	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6	-168668,2	498353,0	-124588,2	373764,7	496469,8
2029		896524,0	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6	-168668,2	511602,1	-127900,5	383701,6	880171,4
2030		909971,9	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6	-168668,2	525049,9	-131262,5	393787,5	1273958,8
2031		923621,4	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6	-168668,2	538699,5	-134674,9	404024,6	1677983,4
2032		937475,8	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6	-168668,2	552553,8	-138138,5	414415,4	2092398,8
2033		951537,9	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6	-168668,2	566616,0	-141654,0	424962,0	2517360,8
2034		965811,0	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6	-168668,2	580889,0	-145222,3	435666,8	2953027,6
2035		980298,1	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6	-168668,2	595376,2	-148844,1	446532,2	3399559,7
2036		995002,6	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6	-168668,2	610080,7	-152520,2	457560,5	3857120,2
2037		1009927,6	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6		793673,9	-198418,5	595255,4	4452375,7
2038		1025076,6	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6		808822,8	-202205,7	606617,1	5058992,8
2039		1040452,7	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6		824199,0	-206049,7	618149,2	5677142,0
2040		1056059,5	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6		839805,8	-209951,4	629854,3	6306996,4
2041		1071900,4	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6		855646,7	-213911,7	641735,0	6948731,3
2042		1087978,9	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6		871725,2	-217931,3	653793,9	7602525,2
2043		1104298,6	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6		888044,8	-222011,2	666033,6	8268558,9
2044		1120863,1	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6		904609,3	-226152,3	678457,0	8947015,9
2045		1137676,0	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6		921422,3	-230355,6	691066,7	9638082,6
2046		1154741,1	-18067,5	-130719	-33733,6	-33733,6		938487,4	-234621,9	703865,6	10341948,1
				T. Descuento	6%		TIR	9%			
							VAN (Tasa: 6%				
							PAY BACK	10 años			

El VAN se ha calculado a partir de los flujos de caja acumulados esperados con el proyecto y de acuerdo a la tasa de descuento adoptado referida anteriormente (6%) y deducido el valor de la inversión inicial 3 373 363€. Segundo el VAN estimado, se trata de una inversión rentable con un valor de 2 084 008,3 €

La TIR fue calculada y se ha obtenido un valor de 9%, eso quiere decir que el proyecto en estudio es rentable a estas condiciones hasta una tasa de descuento de 9%.

El “Pay Back” del proyecto que representa el periodo de retorno de la inversión fue estimado en 11 años, a partir del duodécimo año el “Cash Flow” se hace positivo y se recobra el capital invertido a partir de los beneficios generados por el proyecto como se verifica en la (figura 82).

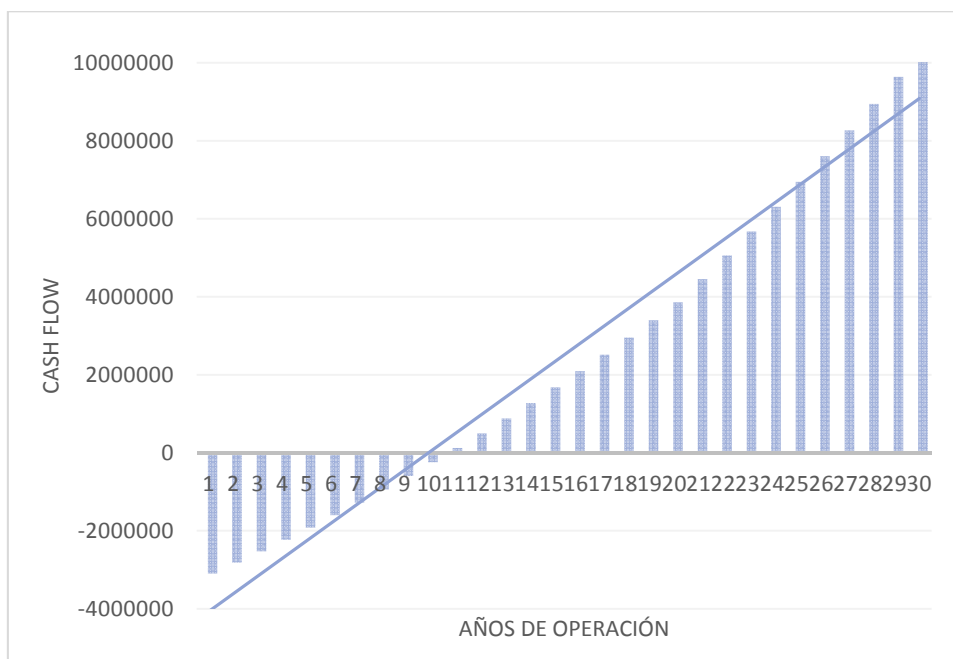


Figura 80. Evolución del cash flow

En estas condiciones financieras descritas anteriormente, se puede concluir que el proyecto es viable económicamente.

Tabla 25. Parámetros del análisis económico de la planta

PARAMETROS DEL ANÁLISIS	
Periodo de Retorno de la Inversión (PAY BACK)	10 años
Valor Actual Neto (VAN)	6017386,8
Tasa interna de Retorno (TIR)	9%

11.4 Análisis de sensibilidad

Se ha hecho un análisis de sensibilidad con el factor que se ha creído que ser el que puede variar debido a muchos motivos como son la logística general, precio del combustible o el propio aumento del precio de adquisición de la biomasa. Se ha variado el valor del coste de la biomasa y se fue verificando como varia la influencia de esta variación en el VAN y el TIR.

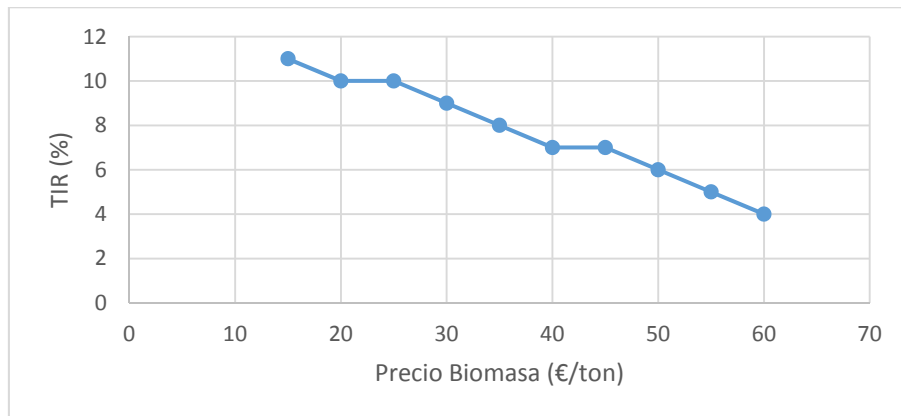


Figura 81. Sensibilidad de la TIR con el precio de biomasa

Se ha verificado que el valor de la TIR se va disminuyendo con el aumento del precio de la biomasa (figura 84), esta disminución sigue rentable hasta los 50 €/toneladas, a partir de allí ya no es rentable el proyecto segundo la TIR.

Para el VAN como se muestra en la (figura 84) el proyecto es rentable hasta los 40€/toneladas, a partir de este valor el proyecto entra en campos negativos.

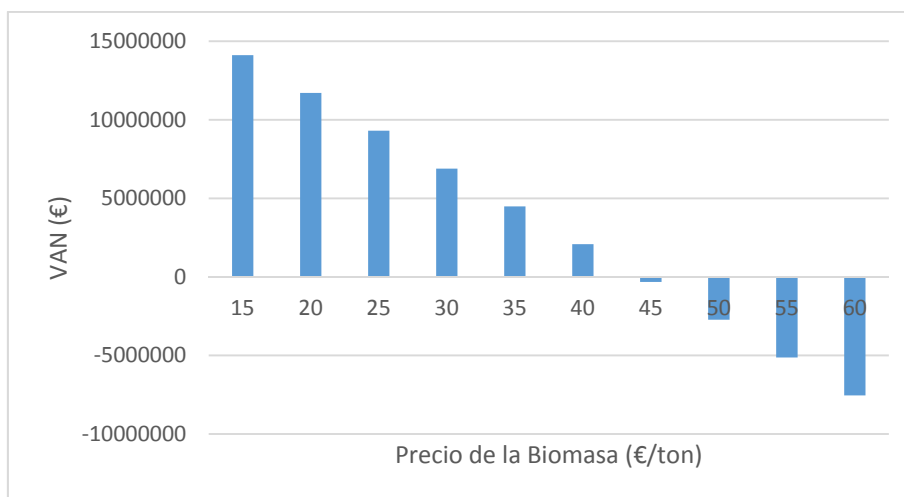


Figura 82. Sensibilidad del VAN con el precio de la biomasa

Esto demuestra como el precio de la biomasa es un factor de extrema importancia en proyectos de este tipo y en este particularmente. Si se logra abaratar el costo de este

producto, se podrá conseguir grandes rentabilidades con el proyecto, o sea, es punto a atacar y negociar.

Estudio de factibilidad para la instalación de una planta piloto para la generación de energía eléctrica con biomasa en la isla de Príncipe (R. D. de Santo Tomé y Príncipe)

DOCUMENTO 3: ESTUDIO DE VIABILIDAD AMBIENTAL

12 ESTUDIO DE VIABILIDAD AMBIENTAL

12.2 Introducción

En este apartado se hará la evaluación de la interacción de la planta con el ambiente envolvente desde la fase de construcción, toda la vida útil de la planta y fase de abandono.

Primeramente se hará una caracterización del medio operacional de la planta teniendo en cuenta los conjuntos de variables físicas químicas, biológicas y sociales relevantes en el análisis de la situación.

Seguidamente se hará una predicción o identificación de los posibles impactos generados por la planta en con la finalidad de prever los cambios que las variables intervinientes sufrirán durante todo el proceso de construcción producción y cierre de la planta.

Una vez conocidos los cambios que causará la planta al medio, se hará un listado de medidas protectoras y correctoras con el intuito de reducir, el número, grado, e intensidad de los impactos causados.

No obstante las medidas tomadas, se elaborará un programa de vigilancia ambiental con el objetivo de cumplir las medidas mencionadas.

12.1 Caracterización del sistema operacional

Como ya descrito anteriormente en este proyecto, tratase de una planta de transformación de biomasa proveniente de los residuos de las podas de los bosques y residuos agrícolas en energía eléctrica. La planta consiste en la combustión de la biomasa en una caldera de aceite térmico que transmitirá el calor a un fluido orgánico que será expandido en una turbina acoplada a un alternador que convertirá la energía mecánica en electricidad.

12.2 Fase de identificación de los impactos

Para la facilidad de la identificación de los impactos, se ha dividido la matriz identificación en dos secciones, el causador y receptores. El causador consiste en los elementos generadores de impacto, o sea, acciones susceptibles de producir los impactos durante las fases de construcción y funcionamiento de la planta y Los elementos receptores del impacto que son aquellos que reciben las acciones.

Los elementos generadores del impacto tienen la capacidad de generar alteraciones, los elementos receptores se encuadran en las variables referidas anteriormente: físicas, químicas, biológicas y sociales.

Considerándose tanto la fase de construcción y de funcionamiento, las acciones pueden generar impactos positivos y negativos sobre las variables. Los elementos generadores de impacto vienen descritos en la tabla siguiente:

Tabla 26. Elementos generadores del Impacto

Clave	Descripción	Acciones
Fase de construcción de la planta		
G1	Excavación y movimientos de tierra	<ul style="list-style-type: none"> - Acondicionamiento y protección del terreno - Apertura de zanjas y canalizaciones - Uso de maquinaria específica - Generación de ruidos y emisiones - generación de empleo
G2	Operación de edificación y montaje de las instalaciones	<ul style="list-style-type: none"> - Cimentaciones - Obras de edificación - Uso de maquinaria específica - Generación de ruidos y emisiones - Generación de empleo
G3	Presencia de personal e elementos necesarios en la construcción y otros elementos de obra	<ul style="list-style-type: none"> - Incremento de tráfico en la zona - Generación de ruidos y vibraciones - Vertido de aguas sanitarias
Fase de funcionamiento de la Planta		
G4	Funcionamiento de la planta de generación eléctrica a partir de biomasa	<ul style="list-style-type: none"> - Incremento del tráfico rodado en la zona - Generación de ruidos y vibraciones - Vertido de aguas residuales (pluviales, sanitarias y de proceso) - Emisión de gases a la atmósfera - Generación de energía - Obtención de productos secundarios (cenizas, inquemados) - Impacto visual - Generación de empleo

Se presentan en la (tabla 27) las variables del medio presentado en distintos sistemas considerados.

Tabla 27. Elementos receptores del impacto

SISTEMA FISICO-NATURAL	
Claves	Descripción
Medio físico	
R1	<i>Calidad atmosférica y nivel del ruido ambiental</i>
R2	<i>Suelo</i>
R3	<i>Medio hídrico</i>
Medio biótico	
R4	<i>Flora</i>
R5	<i>Fauna</i>
R6	<i>Figuras de protección especial</i>
Medio perceptual	
R7	<i>Paisaje</i>
SISTEMA SOCIOECONOMICO	
Claves	Descripción
Factor humano	

R8	<i>Economía y empleo</i>
R9	<i>Calidad de vida y salud</i>
	Uso del territorio
R10	<i>Zona de uso industrial</i>
	SISTEMA CULTURAL
Claves	Descripción
	Patrimonio cultural
R11	<i>Yacimientos</i>

Puesto que están identificados los generadores y los receptores del impacto, en la (tabla 28) siguiente se presenta la matriz que relaciona los mismos.

Tabla 28. Matriz elementos generadores y receptores del impacto

ELEMENTOS GENERADORES DE IMPACTO	MATRIZ IDENTIFICACION	ELEMENTOS RECEPTORES DE IMPACTO										
		Sistema Físico-Natural						Sistema socioeconómico y social				
		Medio Físico			Medio Biótico			Medio Perceptual	Factor humano		Usos del territorio	Patrimonio cultural
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11
Fases de construcción	G1	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
	G2	X	X	X		X	X	X	X	X		
	G3	X	X	X		X	X	X	X	X		
Fases de funcionamiento	G4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

Seguidamente se junta los efectos generadores con los receptores del impacto en una tabla como resumen, destacando los mecanismos principales detectados.

Tabla 29. Resume elementos generadores y receptores –mecanismos

MECANISMOS	ELEMENTOS GENERADORES	ELEMENTOS RECEPTORES
<i>Suspensión de partículas</i>	G1, G2, G3, G4	R1, R3, R4, R5, R6, R9
<i>Emisión de gases de combustión y partículas</i>	G1, G2, G3, G4	R1, R4, R6, R9
<i>Generación de ruidos</i>	G1, G2, G3, G4	R1, R5, R6, R9
<i>Modificación de las componentes edafológicas pre-operacionales</i>	G1, G2, G4	R2, R3, R6, R7, R11
<i>generación de residuos de obra y vertidos accidentales</i>	G1, G2	R2, R3, R6, R7, R9
<i>alteración de las componentes paisajísticas</i>	G1, G2, G3, G4	R7
<i>incremento del tráfico de vehículos particulares de transporte de mercancías</i>	G1, G3, G4	R1, R4, R5, R6, R7, R9
<i>vertido de aguas residuales al sistema</i>	G3, G4	R3, R6, R9
<i>generación de residuos propios de la actividad industrial</i>	G4	R2, R3, R4, R6, R7, R9
<i>producción de electricidad y de productos adicionales</i>	G4	R8, R10
<i>Cambios económicos y sociales</i>	G1, G2, G3, G4	R8, R10

Finalmente, se ha hecho la valoración de los impactos derivados de la construcción y funcionamiento de la planta y se ha elaborado una matriz de importancia o resumen como presentado en la (tabla 30)

Tabla 30. Matriz elementos receptores del impacto - Importancia

ELEMENTOS GENERADORES DE IMPACTO		ELEMENTOS RECEPTORES DE IMPACTO											
		Sistema Físico-Natural					Sistema socioeconómico y social						
MATRIZ IMPORTANCIA		Medio Físico		Medio Biótico			Medio Perceptual	Factor humano		Usos del territorio	Patrimonio cultural		
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	
Fases de construcción	G1	C(-)	C(-)	C(-)	C(-)	C(-)	C(-)	C(-)	C(+)	C(-)			
	G2	C(-)	C(-)	C(-)		C(-)	C(-)	C(-)	C(+)	C(-)			
	G3	C(-)	C(-)	C(-)		C(-)	C(-)	0	C(+)	0			
Fases de funcionamiento	G4	C(-)	C(-)	C(-)	C(-)	C(-)	C(-)	C(-)	C(+)	C(-)			C(-)
VALORACION DE LOS IMPACTOS		Compatible negativo		compatible negativo			compatible negativo		compatible positivo		Compatible positivo		Compatible positivo

Después de la tabla recopilada, se puede hacer un resumen conclusivo de la situación:

Se concluye que la mayoría de los impactos negativos se encuentran en el sistema Físico natural mientras que los positivos se incidirán en el sistema socioeconómico y humano.

Se concluye también que la construcción de la planta de biomasa tal como descrito en el proyecto carece de elementos críticos de generación de impactos, pero contiene también elementos favorables, principalmente en el sistema socioeconómico.

Se puede decir que el proyecto es ambientalmente viable pero, con la necesidad de formulación de medidas moderadoras y correctoras para la prevención y mitigación de impactos más significativos.

12.3 Medidas protectoras, correctoras y compensatorias

Se presentan algunas medidas para la atenuación de los impactos causados por la instalación de la planta.

12.3.1 Medidas para la fase de construcción

En la fase de construcción se propone las siguientes medidas:

- Protección del suelo contra el derrame de aceites y residuos.
- Tratamiento de estériles.
- Integración paisajística de las estructuras.
- Protección atmosférica contra el ruido (uso de maquinaria con reductores de ruido).
- Reconstrucción paisajística (programa de ajardinamiento).

12.3.2 Medidas para la fase de funcionamiento

Las medidas a llevar a cabo durante la fase de funcionamiento de la planta serán las siguientes:

- Control de residuos.
- Control de emisiones atmosféricas.
- Control de efluentes líquidos.
- Desarrollo de sistemas de calidad y gestión ambiental de la planta.
- Desarrollo de un sistema de gestión forestal sostenible.

- Establecer medidas en caso de afecciones por contaminación sobre las especies de interés.

Para conseguir llevar a cabo estas medidas habrá que elaborar procedimientos de verificación, control y cumplimiento de los objetivos que si definan tanto en la planta como en toda la zona de control y protección.

Las acciones anteriores descritas se completan con el ***programa de vigilancia ambiental***.

12.4 Programa de vigilancia ambiental

El programa de vigilancia ambiental se durante la construcción de la planta se concentrará en los siguientes indicadores de impacto:

- Acompañamiento las condiciones generales de edificación.
 - Acompañamiento yacimientos arqueológicos.
 - Acompañamiento de la calidad del aire.
 - Acompañamiento de los niveles sonoros.
- Acompañamiento de afecciones posibles a la hidrología y geomorfología.
 - Acompañamiento y conservación del suelo y de la capa vegetal.
 - Acompañamiento de posibles afecciones fauna y flora.
 - Acompañamiento del programa de ajardinamiento.
 - Acompañamiento de otros controles ambientales.

Para la fase de funcionamiento se ha considerado la vigilancia de los siguientes indicadores de impacto:

- Acompañamiento de los niveles sonoros y de la emisión atmosférica de la planta y calidad del aire de toda la zona periférica a la planta.
- Acompañamiento de los efluentes líquidos de la planta y en toda la zona periférica.
- Acompañamiento de la gestión de residuos.
- Acompañamiento de todos los sistemas integrado en la planta (calidad, medio ambiente y gestión forestal sostenible).

Los controles de todos estos acompañamientos del sistema de vigilancia serán hechos con frecuencia necesaria establecidas por los administradores ambientales competentes y serán sujetos a cambios o imprevistos en el establecido.

El plan de viabilidad ambiental será controlado por informes periódicos en los cuales se expondrán las principales conclusiones del desarrollo del mismo y entregues a la administración ambiental.

13 BIBLIOGRAFIA

KHENNICH, M. & GALANIS, . N., 2012. "Optimal Design of ORC Systems with a Low-Temperature Heat". *Entropy*, 21 Febrero, pp. 370-389.

QIU, G., 2012. "Selection of working fluids for micro-CHP systems with ORC". *Renewable Energy*, Issue 48, pp. 565-570.

A. RETTIG, e. a., 2011. "*Application of Organic Rankine Cycles (ORC)*", Geneva: World Engineers Convention.

Agarwal , A. K. & Agarwala, G. D., 1999. "*Recent technologies for the conversion of biomass into energy, fuels, and useful chemicals*", Nova Delhi: Centre for Energy Studies, Indian Institute of Technology,.

AIP/ACC - Associação Industrial Portuguesa, Noviembre 2004. "*Estudo do mercado de São Tomé e Príncipe*", Portugal: s.n.

AKHTAR KHAN, A., 2009. "*Potential to use biomass for bio-energy in Ontario*", s.l.: s.n.

ALGIERI , A. & MORRONE , P., 2015. "Energy analysis of organic Rankine cycles for biomass applications". *Termal Science*, 19(1), pp. 193-205.

Ambiente, M. d. R. N. e. M., ca.2003. "*Estratégia Nacional e plano de Acção da Biodiveridade*", s.l.: s.n.

ANDRÉS FORERO NÚÑEZ, C., ALBERTO GUERRERO FAJARDO, C. & EMIRO SIERRA VARGAS, F., 2012. "Producción y uso de pellets de biomasa para la generación de energía térmica: una revisión a los modelos del proceso de gasificación". *ITECKNE*, 9(1), pp. 21-30.

Anon., 2014. *Air Liquid.* [En línea] Available at: <http://encyclopedia.airliquide.com/encyclopedia.asp> [Último acceso: 29 Septiembre 2015].

Anon., s.f. *Euro Refrigerant.* [En línea] Available at: <http://www.eurorefrigerant.com/> [Último acceso: 29 Septiembre 2015].

Anon., s.f. *PANORAMA ENER.* s.l., s.n.

Anon., s.f. *WXTENEG.* [En línea] Available at: <http://www.wxteneng.com/en/> [Último acceso: Abril 2014].

Atlas São Tomé e Príncipe, 2012. *Atlas São Tomé e Príncipe.* [En línea] Available at: http://atlas.saotomeprincipe.eu/atlasstp_06_02_diagonalcamerun.jpg [Último acceso: 3 Noviembre 2014].

B. MOHD. TAHIR, M., YAMADA, N. & HOSHINO, T., 2010. "Efficiency of Compact Organic Rankine Cycle System with Rotary-Vane-Type Expander for Low-Temperature Waste Heat Recovery ". *World Academy of Science, Engineering and Technology*, IV(1), pp. 769-774.

BARAL, S., KIM, D., YUN, E. & CHUM KIM, K., 2015. "Energy, Exergy and Performance Analysis of Small-Scale Organic Rankine Cycle Systems for Electrical Power Generation Applicable in Rural Areas of Developing Countries". *Energies*, Issue 8, pp. 684-713.

- BERTRAND, T. & al, e., 2009. "Fluid selection for a low-temperature solar organic Rankine cycle". *Applied Thermal Engineering*, Issue 29, p. 2468–2476.
- BINI, R., DI PRIMA, M. & GUERCIO, A., Ca. 2011. "ORGANIC RANKINE CYCLE (ORC) IN BIOMASS PLANTS: AN OVERVIEW ON DIFFERENT APPLICATIONS", Brescia: Turboden.
- BINI, R. & VISCUSO, F., Ca. 2013. "High efficiency (25%) ORC for "power only" generation mode in the range 1-3 MW: an already proven technology also available for partially cogenerative applications", Italy: TURBODEN "Clean Energy Ahead.
- BRONICKI, L. Y., 2000. "Organic Rankine Cycle Power Plant for Waste Heat Recovery", Nevada: Published on Ormat Technologies Inc.
- BROWN, S., 1997. "Estimating biomass and biomass change of tropical forests. Urbana, Illinois, USA: s.n.
- BRÜMMER, A., 2012. "Energy efficiency – waste heat utilization with", Dortmund: s.n.
- C. ANDERSEN, W. & J. BRUNO, . T., 2005. "Rapid Screening of Fluids for Chemical Stability in Organic Rankine Cycle Applications". *INDUSTRIAL & ENGINEERING CHEMISTRY RESEARCH*, Issue 44, pp. 5560-5566.
- C. ROLLE, K., 2006. "Termodinamica". New Jersey: s.n.
- CAEMA, 2012. "Caema lénergia". [En línea] Available at: http://www.caemaenergia.com/cogenerazione/gassificatori_ankur.html [Último acceso: 2 Junio 2014].
- CALDERAS powermaster, 2015. "calderas powermaster". [En línea] Available at: <http://www.powermaster.com.mx/www/index.html> [Último acceso: 16 Octubre 2015].
- CAMELO MORORÓ, R., 2012. "Aproveitamento dos subproductos, derivados e resíduos do cacau". s.l., s.n.
- CAPATA, R. & ZANGRILLO, E., 2014. "Preliminary Design of Compact Condenser in an Organic Rankine Cycle System for the Low Grade Waste Heat Recovery". *Energies*, pp. 8008-8035.
- Catalog, B. C., ca.2010. *Biomass Conversion Technologies*, USA: s.n.
- CENGEL, Y. & BOLES, M., 2009. "Termodinámica". México: s.n.
- Centre Gestió, 2014. "Tipo de gravemen del impuesto sobre sociedades para 2014, 2015 y 2016", Girona: s.n.
- CHEN, H., YOGI GOSWAMI, D. & STEFANAKOS, E., 2010. "A review of thermodynamic cycles and working fluids for the conversion of low-grade heat". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Issue 14, p. 3059–3067.
- COGEN-PORTUGAL, 2011. "Ciclos organicos de Rankine", Lisboa: s.n.
- Comunidad de Madrid, Ca.2012. "Guía básica: Calderas industriales eficientes", Madrid: s.n.
- DAI, Y., WANG , J. & GAO, L., 2009. "Parametric optimization and comparative study of organic Rankine cycle (ORC) for low grade waste heat recovery". *Energy Conversion and Management*, 50(28), p. 576–582.

DAI, Y., WANG, J. & GAO, L., 2009. "Parametric optimization and comparative study of organic Rankine cycle (ORC) for low grade waste heat recovery". *Energy Conversion and Management*, Issue 50, p. 576–582.

David, G., Michel, F. & Sanchez, L., 2011. "*Waste heat recovery projects using Organic Rankine Cycle technology – Examples of biogas engines and steel mills applications*". Geneva, s.n.

DE MARTINO JANNUZZI, G., JANTIM NETO, H. & RODRIGUES DA SILVA, R., 2012. "Planejamento Integrado de recursos para São Tomé e Príncipe: Investigação de oportunidade para maior inserção de fontes renováveis e eficiencia energética". *Revista Brasileira de Energia*, XVIII(2), pp. 99-115.

DEL BOVE ORLANDI, F., 2011. "*Cadeia de Valores do Cacau em São Tomé e Príncipe*", Lisboa: s.n.

DEMIRBAS, A., Ca. 2004. "*BIOTECHNOLOGY - Vol. II - Biomass feedstocks*", Trabzon, Turkey: s.n.

Desenvolvimento, G. B. A. d., 2012. "*Ambiente de investimento privado em São Tomé e Príncipe*", s.l.: s.n.

DIAGO LÓPEZ, M., 2010. "*RECUPERACIÓN DEL CALOR DE REFRIGERACIÓN DE UN MOTOR DE GAS NATURAL MEDIANTE CICLO ORC*", Madrid: s.n.

DIDDION, D. & HI, J., 1992. "A simulation model of the transient performance of a heat pump". *International Journal of Refrigeration*, Volumen V, pp. 176-184.

Direção de comércio, Ca. 2009. "*Ambiente e desenvolvimento em São Tomé e Príncipe - Principais desafios*", São Tomé: s.n.

DONATEO, T. & FAZIO, A., 2008. "A Numerical Procedure for the Preliminary Design of a ORC Power Plants with Positive Displacement Expanders". *WSEAS TRANSACTIONS on ENVIRONMENT and DEVELOPMENT*, Volumen X, pp. 186-196.

Donna GUILLEN, e. a., 2011. "*Development of a Direct Evaporator for the Organic Rankine Cycle*". USA, s.n.

DRESCHER, U. & BRÜGGEMANN, D., 2007. "Fluid selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) in biomass power and heat plants". *Applied Thermal Engineering*, Issue 27, p. 223–228.

Dresser-Ran, 2015. "*DRESSER-RAND, Bringing energy and the environment into harmony*". [En línea] Available at: <http://www.dresser-rand.com/products-solutions/guascor-gas-diesel-engines/> [Último acceso: 15 Junio 2015].

E. Dahlqvist, J., 2012. *Impulse Turbine Efficiency Calculation*, s.l.: s.n.

ECN, 2012. "*ECN - Phyllis2*". [En línea] Available at: <http://www.ecn.nl/poderes-colorificos-inferiores> (kJ/kg) [Último acceso: 20 Octubre 2015].

Educa Plus, 2012. *Educaplus-Clima TIC*. [En línea] Available at: http://www.educaplus.org/climatic/cmg_db.php?estacion=619340%20%E2%80%93 [Último acceso: 4 Noviembre 2014].

EMAE, 2010. "*Desempenho Económico-financeiro*", S. Tomé: s.n.

ENERGRUP, 2014. *ENERGRUP*. [En línea] Available at: <http://www.energrup.com/es/biomasa.html> [Último acceso: 19 Abril 2015].

Energy, A., 2013. *atvenergy.gr*. [En línea]
Available at: <http://avtenergy.gr/activities-tehcnology/biomass/>
[Último acceso: 12 Febrero 2015].

Enertime, 2009. *"cycle-organique-rankine"*. [En línea]
Available at: <http://www.cycle-organique-rankine.com/technology.php>
[Último acceso: 7 Abril 2014].

ENERTIME, 2015. *Organic Rankine Cycle*. [En línea]
Available at: <http://www.cycle-organique-rankine.com/technology.php>
[Último acceso: 27 Marzo 2015].

FAO - Montes140, 2002. *"Evaluacion de los recursos forestales Mundiales 2000"*, Roma: s.n.

Fernando MERINO, e. a., 2004. *"temperaturas equivalentes para comparacin con ciclos de Carnot"*, Madrid: s.n.

FONSECA NATALIA, E., Julio 2003. *"Estado del Arte del uso del gas de gasificación Termoquímica de biomasa (GG) en motores de combustión interna alternativos"*, Madrid: s.n.

FRANZ, E., Ca. 2015. *"Comparativa de caldera pirotubular y caldera acuotubular - Informe Técnico BOSCH"*, Gunzenhausen: s.n.

FRIGO, S. e. a., 2014. "Small-Scale Wood-Fuelled CHP Plants: a Comparative Evaluation of the Available Technologies". *CEt - CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS*, Issue 37, pp. 847-852.

ge-energy, s.f. *"GE-Energy"*. [En línea]
Available at: http://site.ge-energy.com/prod_serv/products/recip_engines/es/type3.htm
[Último acceso: 16 Junio 2015].

GmbH, B. B., s.f. *Bioenergiesysteme GmbH*. [En línea]
Available at: <http://www.bios-bioenergy.at/en/electricity-from-biomass/orc-process.html>
[Último acceso: 1 Mayo 2015].

GOEL, S. e. a., 2014. *"Market Potencial Study for Organic Rankine Cycle Technology in India - Indo - German Energy Forum"*. New Delhi, India, Publication on Industrial Energy Efficiency.

GORJÃO HENRIQUES, J., 2014. *"Jornal Publico"*. [En línea]
Available at: <http://www.publico.pt/mundo/noticia/o-cacau-ainda-mexe-em-sao-tome-1701729>
[Último acceso: 20 Octubre 2015].

HOON KIM, K. & HO HAN, C., 2015. "A Review on Solar Collector and Solar Organic Rankine Cycle (ORC) Systems". *Journal of Automation and Control Engineering*, III(1), pp. 66-73.

IDAE, 2007. *"Biomasa: Producción eléctrica y cogeneración"*, Madrid: s.n.

IDAE, 2008. *"Biomasa: Industria"*, Madrid: s.n.

IDAE, 2011. *"Evaluación del potencial de energía de la biomasa"*, Madrid: Estudio Técnico PER 2011-2020.

IDAE, 2011. *"Evaluación del putencial de energía geotérmica: Estudio Térmico PER 2011-2020"*, Madrid: s.n.

IDAE, 2012. *"Mapa Tecnológico: Calor y Frío Renovables"*, s.l.: s.n.

IDAE, Enero 2007. *"Energía de la Biomasa" Maual de Energias Renováveis*. España, Madrid, s.n.

IDAE, s.f. "idae.es". [En línea] Available at: <http://www.idae.es/index.php/id.421/reلمenu.323/mod.pags/mem.detalle> [Último acceso: 13 Octubre 2015].

Index Mundi, 2015. "index mundi". [En línea] Available at: <http://www.indexmundi.com/> [Último acceso: 16 Octubre 2015].

Instituto Nacional de Estatística STP, Septiembre de 2012. "IV Recenseamento geral da população e habitação", Santo Tomé: s.n.

IRENA - International Renewable Energy Agency, 2012. "Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series (Biomass for Power Generation)", Bonn-Germany: s.n.

ISERN HIDALGO, X., Ca. 2011. *La humedad en la biomasa: herramientas de medida y control*, s.l.: s.n.

J. Brasz, L. & M. Bilbow, W., 2004. "Ranking of Working Fluids for Organic Rankine Cycle Applications". Pardue, s.n.

JIMÉNEZ DOUGLAS, L., 2013. "SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE UN CICLO RANKINE ORGÁNICO (ORC) DE PEQUEÑA POTENCIA (10 kW)", Zaragoza: s.n.

JING, L., GANG, P. & JIE, J., 2010. "Optimization of low temperature solar thermal electric generation with Organic Rankine Cycle in different areas". *Applied Energy*, Issue 87, p. 3355–3365.

Jones, P. J., BURLISON, J. P. & TYE, A., 1991. "conservação dos Ecossistemas Florestais na República Democrática de São Tomé e Príncipe", s.l.: s.n.

JOSÉ HASSUANI, S., REGIS LIMA VERDE LEAL, M. & CARVALHO MACEDO, I., 2005. "Biomass power generation Sugar cane bagasse and trash", Piraciaba-Brazil: PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento.

KUMAR, A., JONES, D. D. & HANNA, M. A., 2009. "ENERGIES"Thermochemical Biomass Gasification: A Review of the Current Status of the Technology" *Eergies*", USA: s.n.

LACOA, U., 2011. "desarrollo de diferentes modelos de transporte para un tipo de biomasa a ser procesada con el objecto de obtener combustible", s.l.: s.n.

LADANAI, S. & VINTERBÄCK, J., 2009. "Global Potential of Sustainable Biomass for Energy", Uppsala: s.n.

LEMORT, V. y otros, 2013. "A COMPARISON OF PISTON, SCREW AND SCROLL EXPANDERS FOR SMALLS-CALE RANKINE CYCLE SYSTEMS", Liège: s.n.

LÓPEZ-ABENTE MUÑOS, G., 2013. "Análise termodinâmica de un ciclo de Rankine ogânico utilizando fontes de energias renováveis", Itajubá: s.n.

LÓPEZ, M., 2010. "Recuperación del calor de refrigeración de un motor de gas natural mediante ciclo ORC", Madrid: s.n.

M Pantaleo, A. e. a., 2015. "Thermo-economic assessment of small scale biomass CHP: steam turbines vs ORC in different energy demand segments". s.l., s.n.

M. Baratieri at al, 2009. "Applied Thermal Engineering, The use of biomass syngas in IC engines and CCGT plants: A comparative analysis", Italia: s.n.

M. Salazar-Pereyra et al, .., 2011. "ANÁLISIS TERMODINÁMICO DE LOS CICLOS RANKINE SUPERCRÍTICOS Y SUBCRÍTICOS", Porto: s.n.

M. SAMI, S., 2008. "Energy and exergy analysis of an efficient organic Rankine cycle for low temperature power generation". *International Journal of Ambient Energy*, Number 1, 29(1), pp. 1-10.

MAALOUF, S., BOULAWZ KSAYER, E. & CLODIC, D., 2012. "ORC Finned - Tube Evaporator Design and System Performance Optimization". Purdue, s.n.

Madera, O. I. d. I., 2010. "ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA FORESTAL POTENCIALMENTE APROVECHABLE EN LA PROVINCIA DE SEGOVIA (CASTILLA Y LEÓN)", s.l.: s.n.

MARTÍNEZ, J. D. a. a., Agosto 2011. "Syngas Production in Downdraft biomass Gasifiers and its Application Using" *Renewable Energy*" *Renewable Energy*, s.l.: s.n.

MENDOZA LARIVE, A., 2006. "ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICA-ECONÓMICA DE UN CICLO COMBINADO CON MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO Y CICLO DE RANKINE ORGÁNICO", Madrid: s.n.

Ministerio de Obras Públicas e Recursos Naturales, 2011. "Workshop sobre Mecanismo de desenvolvimento limpo". Santo Tomé, s.n.

Ministerio dos recursos naturais e meio ambiente, ca.2003. "Estratégia Nacional e plano de Acção da Biodiveridade", s.l.: s.n.

MINISTRY FOR NATURAL RESOURCES AND THE ENVIRONMEN, SAO TOME AND PRINCIPE, 2007. "National report on the status of biodiversity in S. Tomé and Príncipe", S.Tomé: s.n.

Naciones Unidas, 1998. "Protocolo de Kyoto de la Conversión de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático". Kyoto, s.n.

Northern Innovation, 2010. "Technical Investigation into Thermal Oil Technology", Belfast: s.n.

NOUMAN, J., 2012. "Comparative studies and analyses of working fluids for Organic Rankine Cycles - ORC, STOCKHOLM: s.n.

Oliveira Ferreira, I., 2013. "Viabilidade da Utilização da casca de Cacau Como Combustível no Aquecimento para secagem de Amêndoas de Cacau", Minas Gerais - Brasil: s.n.

PIRES PÉREZ, B., NAVARRO ESBRÍ, J., MOLÉS RIBERA, F. & MOTA BABILONI, A., 2015. "OPTIMIZACIÓN TEORICA DEL CICLO DE RANKINE ORGÁNICO (ORC) PARA EL APROVECHAMIENTO DE FUENTES TÉRMICAS DE BAJA TEMPERATURA". CARTAGENA, s.n.

PIROBLOC -Efficient heating, 2015. *Pirobloc*. [En línea] Available at: <http://www.pirobloc.com/> [Último acceso: 16 Octubre 2015].

Pons, J. L. P., 2012. "Planificación integrada de electrificación de comunidades rurales aisladas (CRA) mediante sistemas de información geográfica (SIG) aplicada a la isla de Anto Tomé", Madrid: s.n.

Quoilin at al., 2013. "Techno-economic survey of Organic Rankine Cycle (ORC) systems". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Issue 22, p. 168 –186.

QUOILIN, S., 2011. "Sustainable Energy Conversion Through the Use of Organic Rankine Cycles for Waste Heat Recovery and Solar Applications", Liège: s.n.

QUOILIN, S. & LEMORT, V., 2011. *"The Organic Rankine Cycle: Thermodynamics, Applications and Optimazation"*, Liège: Mechanical Engineering.

R. Howell, J. & O. Buckius, R., 1990. *"Principios de Termodinámica para ingenieros"*. Mexico: s.n.

R. RUIZ-PEINADO et al, .., 2009. *"Nuevas ecuaciones para la estimación de biomasa en el Inventario Forestal Nacional: Método de ajuste y aplicación a Pinus sylvestris L. "*. Ávila, s.n.

RENTIZELAS, A. a. a., 2009. "Comparative techno-economic analysis of ORC and gasification for bioenergy applications". *Energy Conversion and Management*, Issue 50, p. 674–681.

RICARDOCEA MUÑOZ, H., 2003. *"Caracterización de astillas y aserrín para una planta de tableros de partículas en Valdivia"*, Valdivia: s.n.

Rodriguez, G., 2009. *"Guia de estudio: Ciclo de Brayton"*, s.l.: s.n.

Rodríguez, J. A., 2012. *"Introducción a la Termodinámica"*. Bogotá: s.n.

ROWSHANZADEH, R., Ca.2012. *"Performance and cost evaluation of Organic Rankine Cycle at different technologies"*, Sweden: s.n.

SAACKE, s.f. SAACKE. [En línea]
Available at: <http://www.saacke.com>
[Último acceso: 2 Septiembre 2015].

SAADATFAR, B., FAKHRAI, R. & FRANSSON, T., 2013. "Waste heat recovery Organic Rankine cycles in sustainable energy conversion: A state-of-the-art review". *The Journal of MacroTrends in*, pp. 161-188.

SALEH, B. & al, e., 2007. "Working fluids for low-temperature organic Rankine cycles". *Energy*, Issue 32, pp. 1210-1221.

SEBASTIÁN NOGUÉS, F. & ROYO HERRER, J., 2002. *"La biomasa como fuente de energía renovable"*. s.l., s.n.

SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO RURAL Y AGUA, 2010. *"Estrategia Española para el desarrollo del uso energético de la biomasa forestal residual"*, Madrid: s.n.

SHAH, A. e. a., 2010. *"Performance and emissions of a spark-ignited engine driven generator"*. Bioresource Technology, USA: s.n.

SHAO, Y., 2011. *"DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A BIOMASS-FIRED"*, Nottingham: s.n.

Smith, J. M., Van Ness, H. C. & Abbott, M. M., 1997. *"Introducción a la termodinámica en en la Ingeniería Química"*. México: s.n.

SOTOMONTE et al, 2011. "Organic Rankine Cycle Associated With an Absorption Chiller for Biomass Applications". *Thermal Engineering*, Vol. 10(No. 01 - 02), pp. p. 15-22.

SPLIETHOFFS, H. & SCHUSTER, A., 2006. *"The Organic Rankine Cycle – Power Production from Low Temperature Heat"*, München: s.n.

STEVEN BROWN, J., BRIGNOLI, R. & QUINE, T., 2015. "Parametric investigation of working fluids for organic Rankine cycle applications". *Applied Thermal Engineering*, Issue 90, p. 64e74.

Sylvain QUOILIN, e. a., 2012. "Techno-economic survey of Organic Rankine Cycle (ORC) systems". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 3 July, p. 168–186.

TaimWeser, 2012. "TAIM WESER". [En línea]
Available at: <http://www.taimweser.com/unidades-Negocio.aspx?id=14>
[Último acceso: 3 Junio 2014].

TCHANCHE, e. a., 2011. "Low-grade heat conversion into power using organic Rankine cycles – A review of various applications". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Issue 15, p. 3963–3979.

TERMINOL, s.f. "Terminol - Heat Transfer Fluids by Eastman". [En línea]
Available at: <https://www.therminol.com/>
[Último acceso: 16 Octubre 2015].

THE LINDE GROUP, 2015. *Linde-gas*. [En línea]
Available at: <http://www.linde-gas.com/en/index.html>
[Último acceso: 14 Octubre 2015].

TURMO SIERRA, E., C.a 2012. "NTP 379: Productos inflamables: variación de los parámetros de peligrosidad", Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

UPC CEPIMA , 2008. "Piloto de gasificación Downdraft operado con biomasa", España,Catalunya: s.n.

VANSLAMBROUCK, B., 2013. "Organic Rankine Cycle on bio-CHP - Biogas educational courses", Gent: s.n.

VAZ, H. & OLIVEIRA, . F., 2007. "Relatório nacional do estado geral da biodiversidade de São Tomé e Príncipe", São Tomé: s.n.

VIGNOTE PEÑA, S. & MARTÍNEZ ROJAS, I., 2006. "Tecnología de la Madera". s.l.:Ediciones Mundi-Prensa.

Viklund, A., s.f. "Free Map Tools". [En línea]
Available at: <http://www.freemaptools.com/area-calculator.htm>
[Último acceso: 1 Mayo 2015].

WAGNER NETO, L., 2011. "Panorama energético nacional", Ministério das Obras Públicas e Recursos Naturais. Santo Tomé, s.n.

Zafar, S., 2015. "BioEnergy Consult - Powering Clean Energy Future". [En línea]
Available at: <http://www.bioenergyconsult.com/tag/coconut-biomass/>
[Último acceso: 23 Febrero 2015].

Estudio de factibilidad para la instalación de una planta piloto para la generación de energía eléctrica con biomasa en la isla de Príncipe (R. D. de Santo Tomé y Príncipe)

DOCUMENTO 3: ANEXO

14. ANEXOS

ANEXO 1. Características de Calderas

-ACEITE TÉRMICO (OD)
- IDEAL PARA
COGENERACIÓN

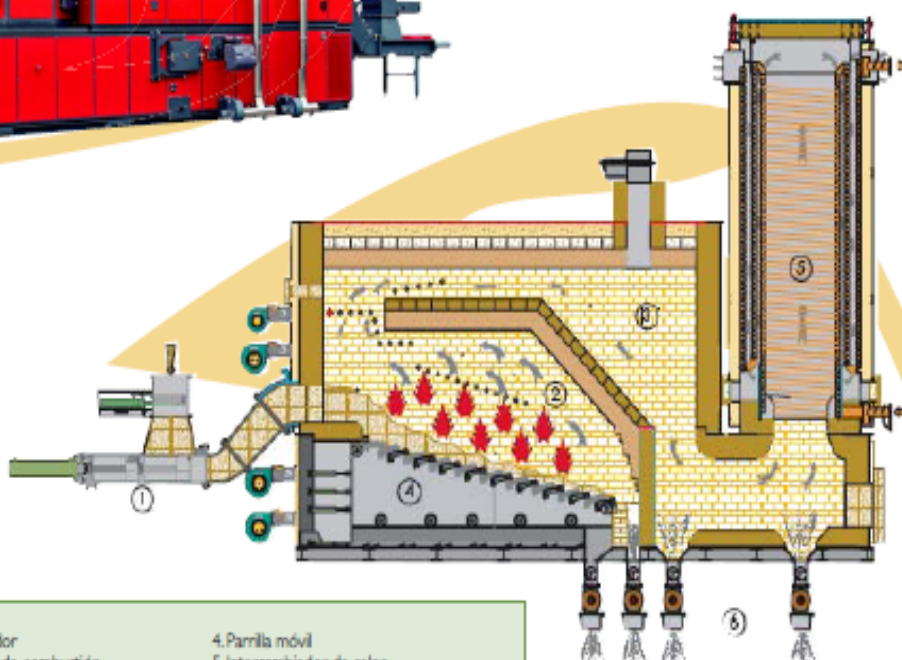
Global-OD

Caldera de biomasa para la producción de aceite térmico. Potencias de 348 a 5800 kW.

El modelo Global-OD produce aceite térmico a 300 °C. Está diseñado para el uso de combustibles sólidos con humedad hasta el 120% en seco y grandes dimensiones. Se usa en procesos industriales específicos y para producir energía eléctrica basada en el ciclo ORC.



	Kcal/h	kW
GLOBAL-30	300.000	348
GLOBAL-60	600.000	696
GLOBAL-90	900.000	1.044
GLOBAL-120	1.200.000	1.392
GLOBAL-150	1.500.000	1.740
GLOBAL-180	1.800.000	2.088
GLOBAL-240	2.400.000	2.784
GLOBAL-300	3.000.000	3.480
GLOBAL-400	4.000.000	4.640
GLOBAL-500	5.000.000	5.800



- | | |
|-----------------------------|----------------------------|
| 1. Empujador | 4. Parrilla móvil |
| 2. Cámara de combustión | 5. Intercambiador de calor |
| 3. Cámara de postcombustión | 6. Extracción de cenizas |

**ANEXO 2. Características del Aceite térmico
Therminol 55**

Product Information

Therminol® 55 Heat Transfer Fluid - SDS
Therminol® 55 Technical Bulletin (Eng & SI Units)

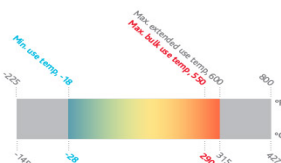
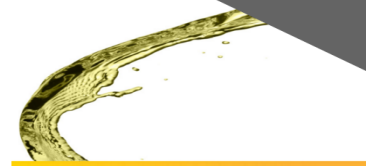
Suggested Applications

- Oil And Gas Processing
- Natural Gas Purification
- Asphalt Processing & Storage
- Gas To Liquid
- Plastic Molding
- Organic Rankine Cycle
- Biofuel Manufacturing
- Desalination
- Food & Beverage Processing

THERMINOL® 55 HEAT TRANSFER FLUID

Therminol 55 is a synthetic heat transfer fluid used in moderate temperature applications. Therminol 55 fluid is designed for use in non-pressurized /low-pressure, indirect heating systems. It delivers efficient, dependable, uniform process heat with no need for high pressures.

Product availability: Americas / Asia Pacific - Contact your local sales representative for more information.



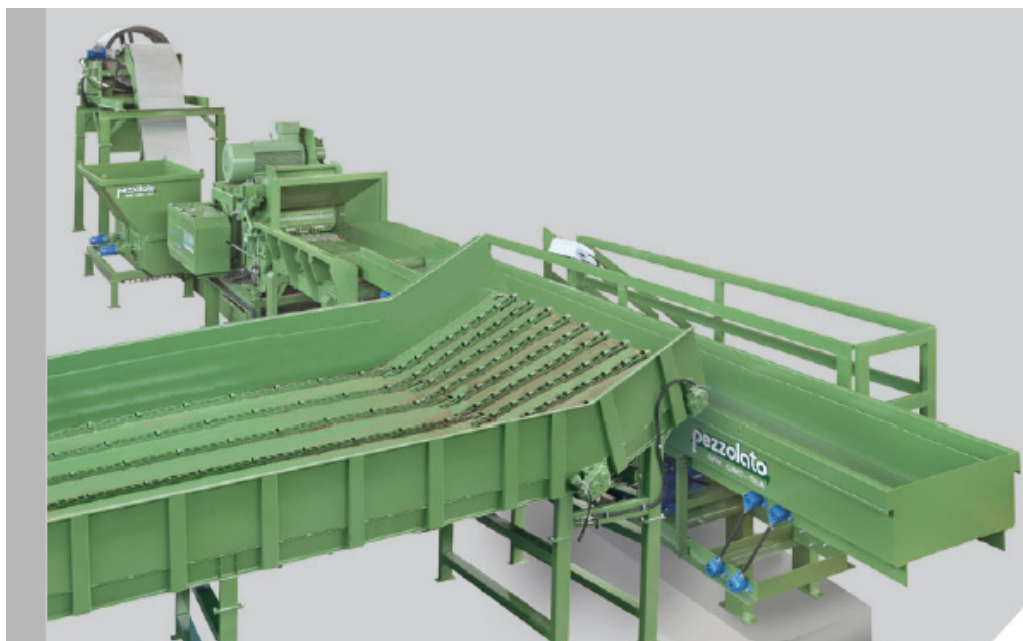
PERFORMANCE BENEFITS

- **Long Life** – Therminol 55 is a true 290°C (550°F) fluid. You will get years of reliable, cost effective performance, even when operating your system continuously at 290°C (550°F). This means you do not have to over specify your fluid.
- **Non Fouling** – Excellent resistance to fouling - Because Therminol 55 is a synthetic fluid, it resists the effects of oxidation 10 times better than mineral oils. Less oxidation and solids formation. For systems without nitrogen inerting, the performance advantages are significant.
- **Superb Low Temperature Pumpability** – Excellent Low Temperature Pumpability - Therminol 55 is still pumpable at -28°C (-18°F), compared to some mineral oils that will not pump at temperatures below -7°C (20°F). With Therminol 55, your heat transfer fluid system can start-up quickly and easily.

TYPICAL PROPERTIES

Appearance	Clear yellow liquid
Composition	Synthetic hydrocarbon mixture
Maximum bulk temperature	290°C (550°F)
Extended maximum use temperature	315°C (600°F)
Maximum film temperature	335°C (635°F)
Normal boiling point	351°C (664°F)
Pumpability, at 300 mm ² /s (cSt)	-8°C (17°F)
Pumpability, at 2000 mm ² /s (cSt)	-28°C (-18°F)
Flash point, COC (ASTM D-92)	177°C (350°F)
Autoignition temperature (ASTM E-659)	366°C (691°F)
Autoignition temperature (DIN 51794)	382°C (719°F)
Pour point (ISO 3016)	-54°C (-65°F)
Minimum liquid temperatures for fully developed turbulent flow (N_{Re} > 10000)	
10 ft/sec, 1 in tube (3.048 m/s, 2.54 cm tube)	67°C (152°F)
20 ft/sec, 1 in tube (6.096 m/s, 2.54 cm tube)	45°C (114°F)
Minimum liquid temperatures for transitional region flow, (N_{Re} > 2000)	
10 ft/sec, 1 in tube (3.048 m/s, 2.54 cm tube)	24°C (75°F)
20 ft/sec, 1 in tube (6.096 m/s, 2.54 cm tube)	11°C (52°F)
Heat of vaporization at max. use temperature	228 kJ/kg (98.1 Btu/lb)
Kinematic viscosity at 100°C (ASTM D-445)	3.52 mm ² /s (cSt)
Kinematic viscosity at 40°C (ASTM D-445)	19.0 mm ² /s (cSt)
Liquid density at 25°C (ASTM D-4052)	868 kg/m ³ (7.30 lb/gal)
Average molecular weight	320
Pseudocritical temperature	512°C (953°F)
Pseudocritical pressure	13.2 bar (191 psia)
Pseudocritical density	258 kg/m ³ (16.1 lb/ft ³)
Moisture content, maximum (ASTM E-203)	150 ppm

ANEXO 3. Características rastilladoras PEZZOLATO



SISTEMA DE ALIMENTACIÓN AUTOMÁTICA

PEZZOLATO, UNA COMPAÑÍA DE 360°

FABRICACIÓN

Un programa continuo de I+D soporta el desarrollo y proceso de fabricación de los equipos Pezzolato. El proceso completo se lleva a cabo en la propia planta; personal propio especializado hace seguimiento de todo el proceso hasta la entrega de las máquinas.

COMPONENTES

Todos los componentes hidráulicos, eléctricos y electrónicos que se montan en las astilladoras Pezzolato son suministradas por fabricantes europeos de primera calidad.

ASISTENCIA TÉCNICA

La asistencia técnica es rápida y realizada por personal propio. Técnicos especialistas de Pezzolato están siempre a disposición para intervenir directamente o bien para dar apoyo a distribuidores locales autorizados o puntos de servicio.

RECAMBIOS

Gracias a su gran stock, Pezzolato está en disposición de enviar y entregar cualquier recambio a clientes en todo el mundo, en un plazo de 24/48 horas.

EXTRAS Y CONFIGURACIONES

Pezzolato SpA se preocupa de las necesidades de sus clientes y escucha atentamente a los usuarios finales de las máquinas, además de ser una compañía flexible y versátil. Las máquinas Pezzolato se pueden personalizar a través de una serie de "extras" como por ejemplo:

- ▼ **Detector de metal** para separar cualquier posible pieza metálica antes de alimentar para evitar accidentes y daños.
- ▼ **Transportador vibratorio** para compactar el material para evitar la obstrucción de madera.
- ▼ **Cintas de cadena de descarga** que permiten descargar las astillas a cualquier altura o distancia, para permitir la carga del camión o para hacer pilas.
- ▼ **Mesa de carga con cadenas cerradas** especialmente adecuada para material mezclado; tanto trozos de madera grandes como pequeños son introducidos suavemente en el transportador, evitando así cualquier desperdicio especial.
- ▼ **Transportadores giratorios** que permiten cargar varios camiones aunque estén situados en zonas distintas.
- ▼ **Remolque para transporte a baja velocidad** para un transporte sencillo de la máquina.
- ▼ **Estación de carga para tablas** para almacenar el material a procesar en grandes cantidades y optimizar los ciclos de trabajo.
- ▼ **Cargador de troncos**: se suministra el mayor cargador en función de la madera a procesar.
- ▼ **Tamizador de astillas** para el tamizado y refinamiento de la madera astillada.
- ▼ **Cargador de troncos cortos** con múltiples cadenas de alimentación y laterales de contención que permiten procesar troncos cortos cargados a granel.
- ▼ **Cabina insonorizada** protege al operario del ruido y polvo.
- ▼ **Grúa fija** para sistemas de alimentación con operario.
- ▼ **Contenedor para cargar astillas de madera** en el caso de que de tuvieran que cribar astillas externas y no producidas por la astilladora fija, se puede insertar entre la astilladora y la criba un contenedor que acumule las astillas de la planta y las lleve directamente a la criba.
- ▼ **Motor eléctrico de alta eficacia** con potencia adecuada, asegura un bajo consumo de combustible y menos ruido.
- ▼ **Rejillas de cribado** de diferente tamaño, fáciles de sustituir.

Cargador para leña corta



Transportador vibratorio



Cargador de troncos

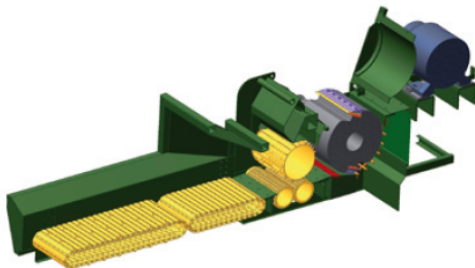




4

LA TECNOLOGÍA DE CORTE PEZZOLATO GARANTIZA CHIPS DE ALTA CALIDAD

La tecnología de corte de Pezzolato consiste en un tambor equipado con cuchillas tan grandes como el eje del tambor entero, una contracuchilla y una criba intercambiable. Dicho sistema, que tradicionalmente se ha venido montando en instalaciones industriales fijas, garantiza la producción de astillas de alta calidad; de hecho la madera es empujada contra las cuchillas y transformada en astillas homogéneas, que pasan a través de la criba inmediatamente después de ser cortadas. El tambor cerrado también permite mantener la longitud de corte fija y constante.

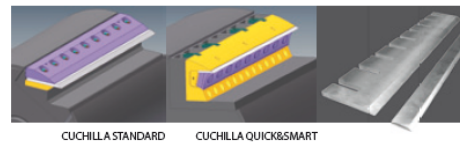


DOS CUCHILLA, MARCA PEZZOLATO

Los tambores de Pezzolato se pueden suministrar con dos tipos de cuchillas diferentes:

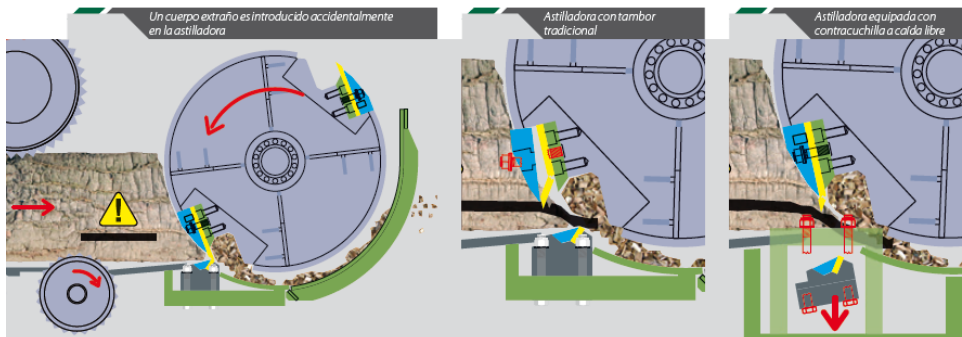
Standard: es la cuchilla tradicional que siempre ha montado Pezzolato en sus astilladoras de tambor. Permite cortar la madera en distintas longitudes y es fácil de sustituir, se puede afilar hasta 20 veces, es adaptable a un tambor especial para la producción de astillas de tamaño extra.

Quick&Smart: equipada con un sistema de fijación revolucionario, está fijada directamente al tambor, es fácil de usar y rápida de sustituir, cuesta un 30% menos que la cuchilla tradicional (de comprar y mantener), puede ser afiladas hasta 3 veces.



CONTRACUCHILLA A CAÍDA LIBRE FIJADA CON PERNOS DE SEGURIDAD DE PEZZOLATO

La astilladora se puede suministrar con una cuchilla a caída libre montada sobre un portaobjetos deslizante fijado con pernos de seguridad. Cuando un cuerpo duro es introducido accidentalmente en la astilladora, los pernos se cortan y la contracuchilla cae, de manera que el cuerpo extraño es expulsado antes de provocar daños mayores.



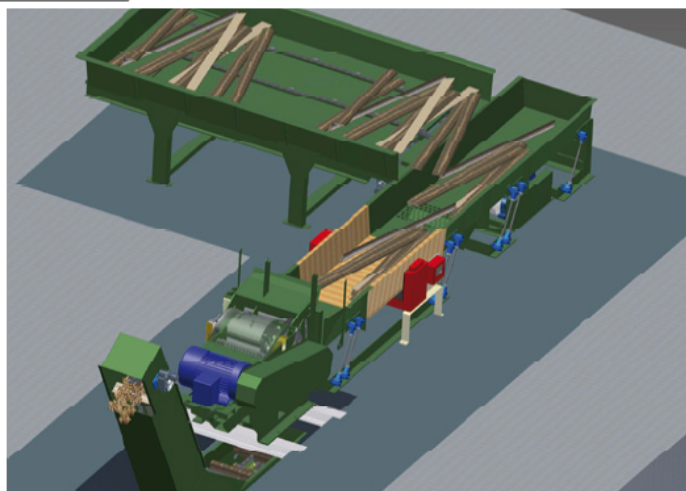
5

ASTILLADORAS FIJAS CON ALIMENTACIÓN POR OPERARIO

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		PTH 700/660	PTH 900/660	PTH 1000/820	PTH 1000/1000
Motor eléctrico	Kw	110	132	250	315
Diámetro máximo astilla (madera blanda)	mm	400	400	560	700
Diámetro máximo astilla (madera dura)	mm	300	300	450	550
Cuchillas	nr	2	2	2	2
Producción horaria	m ³ /h	40-50	60-70	100-120	130-150
Diámetro tambor	mm	660	660	820	1000
Ancho tambor	mm	640	950	900	1000
Rodillos superiores	nr	1	1	1	1
Rodillos inferiores	nr	1	1	2	2

ASTILLADORAS FIJAS PARA ASERRADEROS

ASTILLADORAS FIJAS PARA ASERRADEROS



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		PTH/S 480/660	PTH/S 700/660	PTH/S 900/660
Motor eléctrico	kw	75	110	132
Paso entrada material	mm	480 x 250	640 x 250	950 x 250
Cuchillas	nr	2	2	2
Producción horaria	m ³ /h	20-30	40-50	60-70
Diámetro tambor	mm	660	660	660
Ancho tambor	mm	480	700	900
Rodillos superiores	nr	1	2	2
Rodillos inferiores	nr	2	2	2

ANEXO 4. Características de vehículo de transporte
de biomasa Volvo FE



INSTRUCCIONES DE CARROZADO VOLVO

Las Instrucciones de Carrozado Volvo cubren las necesidades de carroceros profesionales de todo el mundo. El acceso a los planos, a las especificaciones del vehículo y a las hojas de datos lo convierten en un recurso esencial para personalizar el chasis del Volvo FE según sus necesidades empresariales.

ALTURA DE BASTIDOR

Existen dos variantes de altura de bastidor (FRAME266 y FRAME300) con posibilidad de grosor de bastidor de 7 mm y 8 mm.

EJES LOCOS

Hay dos tipos de ejes locos en el chasis del FE. El eje TA-FIXED es un eje loco fijo de rueda sencilla o gemela. El eje TA-HYDRS es un eje loco direccional hidráulico solo de rueda sencilla.

EJES TRASEROS

Hay disponibles cuatro ejes traseros diferentes en diversas combinaciones. La capacidad de carga varía de 13 a 23 toneladas.

DISTANCIA ENTRE EJES	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Distancia entre ejes (mm)	Tractora 4x2	Rigido 4x2	Rigido 6x2	Rigido 6x4
<input type="checkbox"/> 3200				•
<input type="checkbox"/> 3500	•	•	•	•
<input type="checkbox"/> 3700	•	•	•	
<input type="checkbox"/> 3850				•
<input type="checkbox"/> 3900	•	•	•	
<input type="checkbox"/> 4100		•	•	
<input type="checkbox"/> 4200				•
<input type="checkbox"/> 4300		•	•	
<input type="checkbox"/> 4500		•	•	•
<input type="checkbox"/> 4750		•	•	
<input type="checkbox"/> 5000		•	•	•
<input type="checkbox"/> 5250		•	•	
<input type="checkbox"/> 5500		•	•	•
<input type="checkbox"/> 5800		•	•	
<input type="checkbox"/> 6100		•	•	
<input type="checkbox"/> 6450		•	•	
<input type="checkbox"/> 6800		•		

ALTURA DE CHASIS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Bajo	Medio	Alto
	Neumático		Altura (mm)
<input type="checkbox"/> Bajo	315/60 R 22.5*		880
<input type="checkbox"/> Medio	315/70 R 22.5*		950
<input type="checkbox"/> Alto	315/80 R 22.5*		1050

DEPÓSITOS DE COMBUSTIBLE

Los depósitos de combustible están disponibles en plástico, acero o aluminio. El volumen de combustible varía de 160 a 630 litros. Los depósitos en forma de D se ofrecen en dos alturas: 560 mm y 710 mm.

DEPÓSITO DE ADBLUE

El depósito de AdBlue está fabricado en plástico y tiene un volumen de 32 litros. La bomba de AdBlue se integra en el módulo del depósito. Existe una variante para los vehículos con el depósito de combustible montado a la derecha (ADTP-R) y otra para los vehículos con el depósito montado a la izquierda (ADTP-L).

EJES TRASEROS

Hay disponibles cuatro ejes traseros diferentes. La carga máxima sobre el eje varía de 13 a 23 toneladas. Todos los ejes se ofrecen de serie con un bloqueo de diferencial.

EJES DELANTEROS

Las cargas sobre el eje delantero varían de 7,1 a 8 toneladas.

EJE LOCO DETRÁS DE EJE MOTRIZ

Disponibles en varias versiones: fijo con rueda sencilla o gemela, o direccional con rueda sencilla. Carga sobre el eje de 6,7; 7,1; 7,5; 9,5 o 10,5 toneladas.

**ANEXO 5. Características de pala cargadora
Caterpillar 908H2**



GENERALIDADES

Las nuevas palas de ruedas compactas de la serie H2 conservan la fortaleza de Cat al tiempo que ofrecen una gama totalmente renovada de características y ventajas. En pocas palabras, una máquina de rendimiento probado.

MOTOR

UNIDADES: IMPERIAL MÉTRICO

Potencia neta	52.0 kW
Potencia bruta	55.0 kW
Modelo	Cat® C3.3B DIT
Calibre	94.0 mm
Descripción	Motor Cat C3.3B, 4 cilindros, turboalimentado, inyección directa
Cilindrada	3.3 L
Potencia neta - 80/1269/EEC	52.0 kW
Potencia neta: ISO 9249	52.0 kW
Carrera	120.0 mm

PESOS

Peso de funcionamiento	6465.0 kg
------------------------	-----------

CAPACIDADES DE LLENADO DE SERVICIO

Sistema de refrigeración	24.0 L
Depósito de combustible	78.0 L
Sistema hidráulico	70.0 L
Aceite del motor	10.0 L

ESPECIFICACIONES DE FUNCIONAMIENTO

Capacidad nominal del cucharón	1.1 m ³
Capacidad del cucharón	1.1 m ³

SISTEMA HIDRÁULICO

Flujo de la tercera válvula auxiliar: estándar	83.0 L/min
Tiempo de ciclo hidráulico: levantamiento	5 segundos
Flujo de la tercera válvula auxiliar: alto caudal	125.0 L/min
Tiempo de ciclo hidráulico - Descarga	2 segundos
Válvula de descarga principal	235.0 bares
Tiempo de ciclo hidráulico: recogida	2,5 segundos
Tiempo de ciclo hidráulico: bajada	4 segundos

VELOCIDADES DE DESPLAZAMIENTO

Velocidad alta	35.0 km/h
Velocidad 1	7.0 km/h
Velocidad 2	20.0 km/h

DENSIDADES MÁXIMAS DE LOS MATERIALES: USOS MÚLTIPLES

Pesos de los cucharones: bulón horizontal + cuchillas empernables	603.0 kg
Pesos de los cucharones: bulón vertical + cuchillas empernables	582.0 kg
Anchura del cucharón	2060.0 mm
Altura de descarga: acoplamiento de bulón horizontal	2665.0 mm
Altura de descarga: acoplamiento SSL	2630.0 mm
Densidad máxima de material: acoplamiento de bulón horizontal	1967 kg/m ³
Densidad máxima de material: acoplamiento SSL	1929 kg/m ³
Capacidad nominal	0.9 m ³

ESPECIFICACIONES DE FUNCIONAMIENTO: ACOPLAMIENTO HP

Fuerza de arranque, con cucharón (ISO 14397-2:2007)	57.0 kN
Carga límite de equilibrio estático a giro pleno con cucharón (ISO 14397-1:2007)	3650.0 kg
Peso de funcionamiento (ISO 6016:1998)	6465.0 kg
Ángulo de recogida del cucharón, en posición de transporte	52.0 Grados
Capacidad nominal del cucharón (ISO 7546:1983)	1.1 m3
Carga nominal de operación con la máquina completamente girada, con cucharón (ISO 14397-1:2007)	1825.0 kg
Carga nominal de operación con la máquina completamente girada, con horquillas (EN 474-3:2006, terreno nivelado y firme, relación de estabilidad 1,25 y centro de carga 500 mm)	2515.0 kg
Carga nominal de operación con la máquina completamente girada, con horquillas (terreno nivelado y firme, relación de estabilidad 1,25 y centro de carga 500 mm, transporte a 100 mm sobre el suelo)	3080.0 kg
Carga límite de equilibrio recto, con cucharón (ISO 14397-1:2007)	5100.0 kg

DENSIDADES MÁXIMAS DE LOS MATERIALES: MATERIAL LIVIANO

Pesos de los cucharones: bulón horizontal + cuchillas empernables	515.0 kg
Pesos de los cucharones: bulón vertical + cuchillas empernables	514.0 kg
Anchura del cucharón	2080.0 mm
Altura de descarga: acoplamiento de bulón horizontal	2460.0 mm
Altura de descarga: acoplamiento SSL	2345.0 mm
Densidad máxima de material: acoplamiento de bulón horizontal	1106 kg/m3
Densidad máxima de material: acoplamiento SSL	1034 kg/m3
Capacidad nominal	1.5 m3

ANEXO 6. Software CollPack

