



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN
GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

TEMA:

**Análisis para la obtención de energía eléctrica utilizando un
Gasificador de Biomasa**

Autor:

Chong Obando, Héctor Wellington

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
Ingeniero en Eléctrico-Mecánica**

Tutor:

Ing. Hidalgo Aguilar, Jaime Rafael

Guayaquil, Ecuador



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN
GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Chong Obando, Héctor Wellington** como requerimiento para la obtención del título de **ingeniero Eléctrico-Mecánico**

TUTOR

f. _____

Ing. Hidalgo Aguilar, Jaime Rafael

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Armando Heras Sánchez MSc.

Guayaquil, 30 de Agosto del 2018



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN
GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Chong Obando, Héctor Wellington**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Análisis para la obtención de energía eléctrica utilizando un Gasificador de Biomasa** previo a la obtención del título de Ingeniero en Eléctrico-Mecánica ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, 30 de Agosto del 2018

EL AUTOR

f. _____
Chong Obando, Héctor Wellington



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN
GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Chong Obando, Héctor Wellington**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Análisis para la obtención de energía eléctrica utilizando un Gasificador de Biomasa** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 30 de Agosto del 2018

EL AUTOR:

f. _____
Chong Obando, Héctor Wellington

REPORTE URKUND

The screenshot displays the Urkund web interface. At the top, the browser address bar shows the URL: <https://secure.orkund.com/view/40196001-673159-980033#FccxCoAwDIXhu2Q0krQJaXoVcZCi0sEuHcW7G4eP/70H7g15eTImUJClqHtEiyA7h9iew/8VtWwls1+jn73tox1QaaG...>. The interface includes a navigation menu with 'Aplicaciones', 'Bookmarks', and 'EURES.COM P615: Ev...'. The main content area shows the document details: 'Documento: TESIS HECTOR CHONG.pdf (D41074680)', 'Presentado: 2018-08-31 08:37 (-05:00)', 'Presentado por: orlandophilco_7@hotmail.com', 'Recibido: orlando.philco.ucsg@analysis.orkund.com', and 'Mensaje: TESIS HECTOR CHONG. Mostrar el mensaje completo'. A yellow box indicates '4% de estas 33 páginas, se componen de texto presente en 4 fuentes.' To the right, a 'Lista de fuentes' (List of sources) is visible, showing a table with columns for 'Bloques' and 'Fuentes'. The first source is 'generar, el tipo y la disponibilidad del combustible tienen una mayor incidencia e...', with a 100% match. Other sources include 'http://www.energia.org/index.php/biomasa-2/56-procesos-de-conversion-de-bi...', 'https://www.greenenergy-latinamerica.com/microgrids-microrred/', and 'http://www.rac.es/ficheros/doc/00979.pdf'. The bottom of the interface shows a toolbar with '0 Advertencias', 'Reiniciar', 'Exportar', and 'Compartir'. The main text area contains the following text: 'FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL TEMA: Análisis para la obtención de energía eléctrica utilizando un Gasificador de Biomasa Autor: Chong Obando, Héctor Wellington', 'Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Eléctrico-', 'Mecánica Tutor: Ing. Hidalgo Aguilar, Jaime Rafael Guayaquil, Ecuador', 'FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL CERTIFICACIÓN Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por Chong Obando, Héctor Wellington como requerimiento para la obtención del título de ingeniero Eléctrico-Mecánico TUTOR f. _____ Ing. Hidalgo Aguilar, Jaime Rafael MBA DIRECTOR DE LA CARRERA f. _____ Ing. Armando Heras Sánchez MSc. Guayaquil, 30 de Agosto del 2018', and 'FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO'. The bottom of the interface shows a taskbar with several open files: 'Urkund Report - T....pdf', 'Urkund Report - T....pdf', 'BUSTAMANTE SAL....pdf', 'TESIS - GJ planos....docx', and 'TESIS - GJ planos....docx'. A 'Mostrar todo' button is also visible.

Reporte Urkund del Trabajo de Titulación denominado: **Análisis para la obtención de energía eléctrica utilizando un Gasificador de Biomasa** del estudiante: **Chong Obando, Héctor Wellington**. Se encuentra al 4% de coincidencias.

Atentamente

Ing. Orlando Philco Asqui, MSc.

Revisor del Trabajo de Titulación

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación dedico en especial a Dios y a mi adorada familia, mis seres queridos que siempre estuvieron alentándome en todo momento. A mi esposa e hijos a ellos dedico de manera especial el esfuerzo transformado en un trabajo académico, requisito para mi titulación como profesional en la ingeniería eléctrica.

Héctor Chong Obando

AGRADECIMIENTOS

A mis amigos y colegas que me expresaron apoyo y consejos para culminar mi carrera universitaria, a mis profesores de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo FETD.

Agradezco de manera especial a mi tutor el ing. Rafael Hidalgo A. Superintendente de Servicios al Cliente y Facturación/ Dirección Comercial de la Empresa Eléctrica Pública Estratégica CNEL EP quien con su acertada dirección académica me ha guiado para concluir de manera satisfactoria el presente trabajo de titulación.

Héctor Chong Obando



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN
GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

**ING. MANUEL ROMERO PAZ MSC.
DECANO O DIRECTOR DE CARRERA**

f. _____

**ING. RAÚL MONTENEGRO TAMAYO MSC.
COORDINADOR DEL ÁREA O DOCENTE DE LA CARRERA**

f. _____

(NOMBRES Y APELLIDOS)

OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

Índice de Figuras.....	XI
Índice de Tablas.....	XIII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT.....	XV
Capítulo I: Generalidades de la Investigación	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Justificación.....	2
1.4 Objetivos	2
1.4.1 Objetivo General	2
1.4.2 Objetivos específicos	2
1.5 Metodologías de investigación	3
Capítulo II: Marco Teórico.....	4
2.1 La Biomasa como fuente energética	4
2.1.1 Fuentes de obtención de Biomasa.....	6
2.1.1.1 Plantaciones energéticas	8
2.1.1.1 Clasificación de biomasa por tipo de residuo.....	12
2.2 Transformación de biomasa	17
2.2.1 Métodos Termoquímicos de transformación.	18
2.2.1.1 Combustión	18
2.2.1.2 Pirolisis.....	22
2.2.1.3 Gasificación.....	23
2.2.2 Tecnologías y reactores de gasificación.	25
2.2.2.1 Gasificadores de lecho fijo/móvil	26

2.2.2.2 Gasificadores de lecho fluidizado	27
2.2.2.3 Gasificadores con arrastre	28
2.2.2.4 Reactores de plasma	29
2.3 Aplicaciones de las tecnologías de gasificación de biomasa	30
2.3.1 Generación de electricidad por gasificación	30
Capítulo III:	35
Criterios de generación eléctrica a pequeña escala	35
3.1 Generación Distribuida (DG)	35
3.1.1 Impacto de Generación Distribuida en operación de red de distribución	37
3.1.2 Micro redes	37
3.1.3 Tipos de micro red	39
Micro redes de la comunidad	40
3.1.4 Componentes básicos en micro redes	41
3.1.5 Desafío de la micro red	44
3.1.6 Sistema de medición de energía	45
3.2 Potencial energético estimado de energías renovables en Ecuador	46
3.3 Sistema de gasificación alimentado con biomasa a pequeña escala	51
3.4 Propuesta de sistema gasificador para obtención de electricidad por biomasa para la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo FETD	52
3.4.1 Gasificador didáctico para la FETD	52
3.4.2 Gasificador GEK (Gasifier Experimenter's Kit)	52
3.4.2 Montaje del sistema de gasificación a pequeña escala para la FETD	54
Capítulo IV:	60

Análisis de situación energética de fuentes renovables en Ecuador	60
4.1 Marco Nacional para el Monitoreo de un Programa SE4ALL.....	61
4.2 Energía renovable On-Grid y Of Grid	61
4.2.1 Energía renovable: generación eléctrica On-Grid y Of-Grid	61
4.3 Biomasa	62
4.4 Biocombustibles	62
4.5 La respuesta de la iniciativa privada.....	66
CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

Índice de Figuras

Capítulo 2.

Figura 2. 1 Ciclo de la biomasa.....	5
Figura 2. 2 Fuentes de obtención de biomasa	7
Figura 2. 3 Fuentes de biomasa y sus características	8
Figura 2. 4 Algunos tipos de cultivo energético	11
Figura 2. 5 Valor calorífico por la humedad relativa.	14
Figura 2. 6. Sistema por combustión directa de residuos de biomasa	20
Figura 2. 7 Proceso de pirolisis con producto final	22
Figura 2. 8 Proceso de ingreso del agente gasificante.....	24
Figura 2. 9 Flujo ascendente (a) y descendente (b) con zonas de reacción	26
Figura 2. 10 Gasificadores de lecho fluidizado, burbujeante (a), circulante (b).	27
Figura 2. 11 Esquema integrado de gasificación con ciclo combinado	31
Figura 2. 12 Esquema integrado de gasificación con celda combustible y turbina de gas.....	32
Figura 2. 13 Transformación de la biomasa en energía	34

Capítulo 3.

Figura 3. 1 Esquema de generación distribuida	36
Figura 3. 2 Esquema de una micro red.....	38
Figura 3. 3 Micro red.....	40
Figura 3. 4 Componentes de una micro red.....	41
Figura 3. 5 Esquema del sistema de control de una micro red.....	42
Figura 3. 6 Tendencia de red eléctrica convencional hacia red inteligente...	43

Figura 3. 7 Medidor inteligente, a) El SEP entrega energía a micro red, b) Micro red entrega energía al SEP	46
Figura 3. 8 Comparación de fuentes de generación de electricidad	48
Figura 3. 9 Proyectos de energía renovables y potencia instalada	50
Figura 3. 10 Propuesta de sistema de gasificación	51
Figura 3. 11 Subsistema TOTTI del Gasificador GEK de 10 kW	53
Figura 3. 12 Vista del tanque (reactor).....	54
Figura 3. 13 Revisión del filtro y ciclón.....	55
Figura 3. 14 Reactor del gasificador	56
Figura 3. 15 Reactor preparado	56
Figura 3. 16 Reactor preparado para conexión con otros componentes.	57
Figura 3. 17 Instalación de reactor.....	57
Figura 3. 18 Montaje de reactor con tolva.....	58
Figura 3. 19 Terminación del montaje.....	59

Índice de Tablas

Capítulo 2.

Tabla 2. 1 Estados típicos de la biomasa.....	13
Tabla 2. 2 Constitución química de diversas formas de biomasa.....	16
Tabla 2. 3 Valor calórico de algunos tipos de biomasa	17
Tabla 2. 4 Aplicaciones comunes de la tecnología por combustión	21
Tabla 2. 5 Características de los diferentes modelos de gasificador	25
Tabla 2. 6 Indicadores de eficiencia por gasificación integrados a producción de energía.	33

Capítulo 3.

Tabla 3. 1 Proyección de energía por fuentes renovables	48
Tabla 3. 2 Especificaciones de dos tipos de motores para el gasificador GEK	54

Tabla 4. 1 Estado y aplicación de energía renovable en Ecuador	60
Tabla 4. 2 Aplicación y estado de desarrollo de la biomasa en el país	64
Tabla 4. 3 Precios de la energía regulación CONELEC 004-11	64
Tabla 4. 4 Participación privada en proyectos de generación eléctrica con ERNC	66

RESUMEN

El presente trabajo de titulación analiza la propuesta de obtención de energía eléctrica a través de la gasificación de biomasa, de esta manera el objetivo principal es la utilización de un tipo de gas denominado syngas, el cual puede servir como combustible para un sistema de gasificación. El gas obtenido puede utilizarse en un motor a combustión para generar energía eléctrica, muy útil para zonas rurales del Ecuador. A través de la metodología Bibliográfica y Documental, se examinan bases de datos digitales, con el fin de establecer un estado del arte de la gasificación por biomasa, se emplea el método Descriptivo para caracterizar la operación de un sistema de gasificación de generación eléctrica a pequeña escala que utiliza como biomasa cascara de arroz o el residuo de la mazorca del maíz (tusa). Y se utiliza el método Sintético-Analítico para plantear criterios de generación eléctrica por fuentes renovables en el Ecuador.

PALABRAS CLAVES: ENERGÍA RENOVABLE, GASIFICADOR, BIOMASA, REACTOR, GEK

ABSTRACT

The present titration work analyzes the proposal of obtaining electrical energy through biomass gasification, in this way the main objective is the use of a type of gas called syngas, which can serve as fuel for a gasification system. The gas obtained can be used in a combustion engine to generate electric power, very useful for rural areas of Ecuador. Through the Bibliographic and Documentary methodology, digital databases are examined, with the purpose of establishing a state of the art of gasification by biomass, the Descriptive method is used to characterize the operation of a gasification system of electric generation to small scale that uses as rice husk biomass or corn husk residue (tussa). And the Synthetic-Analytical method is used to propose criteria of electric generation by renewable sources in Ecuador.

KEYWORDS: RENEWABLE ENERGY, GASIFIER, BIOMASS, REACTOR, GEK

Capítulo I: Generalidades de la Investigación

1.1 Introducción

El presente trabajo de titulación pretende aportar con un análisis a la propuesta de generación de electricidad a través de la gasificación de biomasa.

Por criterios de sostenibilidad el desarrollo de fuentes alternativas de energía con el fin de satisfacer el aumento de la demanda energética debe ser campo de acción de profesionales en ingeniería eléctrica y afines. A través de fuentes renovables de biomasa, eólica, solar, hidráulica entre otras más, se suministra de una forma sostenible energía eléctrica. La generación de electricidad a partir de biomasa promueve el desarrollo de comunidades rurales y zonas no interconectadas en los países en vías de desarrollo.

Una de las fuentes renovables de energía de mayor evolución en el mundo es la biomasa, de hecho, es la más primitiva de las fuentes de energía conocidas por el hombre. En los últimos años las tecnologías dedicadas a su aprovechamiento han permitido desarrollar combustibles para transporte y generación de energía eléctrica y térmica a partir de los recursos biomásicos (Arenas, 2009).

La biomasa constituye una de las fuentes renovables de energía de mayores perspectivas a nivel mundial, por sus potencialidades y su menor impacto ambiental en comparación con los combustibles fósiles. Mediante diferentes procesos y tecnologías de conversión energética es posible obtener combustibles en forma sólida, líquida y gaseosa a partir de cualquier tipo de biomasa

La gasificación es una de las tecnologías prometedoras en términos de conversión de biomasa a calor y energía. Sin embargo, esta tecnología ha enfrentado muchos desafíos, por ejemplo, altos costos de capital, baja eficiencia de conversión de energía, etc.

1.2 Planteamiento del problema

Escaso conocimiento y barreras para la aplicación de un proceso de producción sostenible de energía eléctrica a través de recursos como desechos sólidos materia inorgánica y todo lo concerniente a la biomasa.

1.3 Justificación

El desarrollo de los países tiene algunos factores claves y uno de aquellos es la generación y disponibilidad energética, pero se requiere que el Ecuador y sus organismos públicos o privados promuevan o aumenten la capacidad de energía a través de fuentes renovables convencionales y no convencionales.

La gasificación es una de las tecnologías prometedoras en términos de conversión de biomasa a calor y energía. Es decir, la gasificación de la biomasa es la conversión térmica de la misma en un gas, el cuál puede utilizarse para la producción de electricidad con el empleo de motores de combustión interna con un determinado nivel de eficiencia, que depende de las características de la biomasa y los motores utilizados.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Análisis de una propuesta para obtener energía eléctrica utilizando un Gasificador de Biomasa a pequeña escala.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Estudiar las diversas fuentes de obtención de biomasa.
2. Caracterizar el desempeño de un sistema de gasificación por biomasa a pequeña escala.
3. Analizar la biomasa como combustible en Ecuador por medio de caso de estudio de gasificación utilizando biomasa.

1.5 Metodologías de investigación

Las metodologías empleadas en el presente trabajo de titulación son:

Bibliográfica y documental, por cuanto se revisará fuentes documentales y bases de datos digitales, donde se recopila de artículos científicos relacionados los resultados de la obtención de energía a través de la biomasa

Descriptivo por cuanto se caracteriza la operación de los procesos térmicos de un gasificador para la obtención de gas como fuente combustible para un sistema de generación eléctrica. Así mismo se detalla la propuesta y montaje de un sistema de gasificación didáctico downdraft en la FETD en beneficio de la enseñanza de un método de obtención de electricidad utilizando biomasa.

Sintético-analítico por cuanto luego de la recolección de información se plantean resúmenes de resultados obtenidos de artículos científicos y analiza impactos de la generación eléctrica por biomasa en el país.

Capítulo II: Marco Teórico

2.1 La Biomasa como fuente energética

La combustión es la forma más común de convertir los combustibles sólidos de biomasa en energía. En el caso de países en desarrollo, donde la combustión de biomasa proporciona energía básica para cocinar y calentar a nivel doméstico y para proporción de 'calor' en una variedad de procesos industriales. Sin embargo, muchas de estas aplicaciones tradicionales son relativamente ineficientes y se caracterizan por la alta contaminación del aire interior y el uso insostenible de los bosques.

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz, macadamia), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros) (BUN-CA, 2002).

La biomasa de diferentes formas también puede usarse para producir energía (y calor) en instalaciones de generación distribuida a pequeña escala utilizadas para la electrificación rural, en aplicaciones a escala industrial, así como en plantas de generación de electricidad a gran escala.

Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de procesos más eficientes y limpios para la conversión de biomasa en energía; transformándola, por ejemplo, en combustibles líquidos o gaseosos, los cuáles son más convenientes y eficientes. Así aparte de la combustión directa, se pueden distinguir otros dos tipos de procesos: el termo-químico y el bio-químico. (BUN-CA, 2002).

En la figura 2.1 se muestra el ciclo de la biomasa.

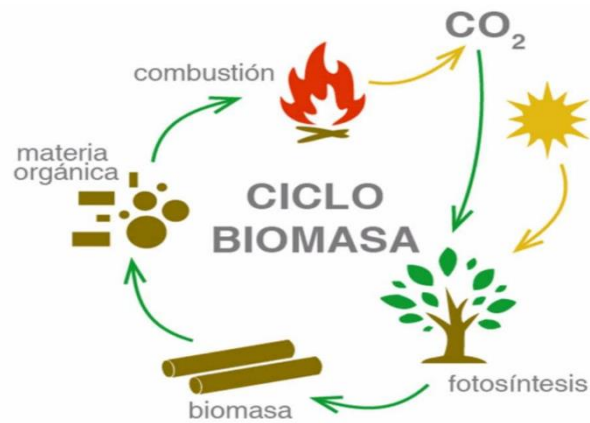


Figura 2. 1 Ciclo de la biomasa

Fuente: (Eficiencia Renovable, 2014)

Mediante el proceso de fotosíntesis, las plantas que contienen clorofila en sus células convierten el dióxido de carbono de la atmósfera, el agua de productos minerales sin valor energético y los nutrientes del suelo en materiales orgánicos con alto contenido energético. La biomasa, mediante estos procesos, almacena a corto plazo la energía solar en forma de 'carbono' (C). La energía almacenada en el proceso fotosintético puede ser posteriormente transformada en energía térmica, eléctrica o carburantes de origen vegetal, liberando de nuevo el carbono en forma de dióxido de carbono (CO_2) almacenado. (Castells, 2005) y (Arenas, 2009).

La biomasa como materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, tiene carácter de energía renovable porque su contenido energético procede en última instancia de la energía solar fijada por los vegetales en el proceso fotosintético. Al romper los enlaces de los compuestos orgánicos, por combustión directa de biomasa o por combustión de productos obtenidos de ella mediante transformaciones físicas o químicas, para dar dióxido de carbono y agua como productos finales, se libera energía. La biomasa puede proporcionar energía mediante su transformación en materiales sólidos, líquidos y gaseosos (Romero, 2010).

Los productos procedentes de la biomasa que se utilizan para fines energéticos se denominan, en general, biocombustibles y específicamente, a

todos aquellos, generalmente sólidos y gases, que se aplican con fines térmicos y eléctricos.

El nombre de biocarburantes se reserva para los productos, normalmente líquidos, que proceden de la biomasa y se destinan a la automoción. Este tipo de productos tienen una importancia especial debido al gran consumo de carburantes derivados del petróleo para el transporte. Los actuales motores Diesel requieren combustibles líquidos cuyo comportamiento sea similar al del gasóleo y al de la gasolina. (Romero, 2010).

2.1 1 Fuentes de obtención de Biomasa

Las fuentes más importantes de biomasa son los campos forestales y agrícolas pues en ellos se producen residuos (rastros) que normalmente son dejados en el campo al consumirse sólo un bajo porcentaje de ellos con fines energéticos. En la agroindustria, los procesos de secado de granos generan subproductos que son usados para generación de calor en sistemas de combustión directa; tal es el caso del bagazo de caña de azúcar, la cascarilla de café y la de arroz.

Según Klass (1998) la biomasa se clasifica según su origen en 3 grandes grupos:

- Biomasa natural: es aquella que produce la naturaleza sin la intervención del hombre o de otras especies.
- Biomasa residual: es aquella generada como residuo a partir de las actividades del hombre como: Ganadería, Industria agrícola, Industria maderera, Industria depuradora, residuos orgánicos del consumo etc.
- Cultivos Biomásicos: Es aquella biomasa que se cultiva con el fin de ser destinada a la producción de energía, sea por combustión directa o por transformación del recurso en un combustible más refinado. (Klass, 1998) y (Arenas, 2009).

Así un ejemplo de biomasa residual es la que generan ciudades urbanas a través de grandes cantidades de basura compuestas (desechos sólidos) en

gran parte, por materia orgánica que puede ser convertida en energía, después de procesarla adecuadamente

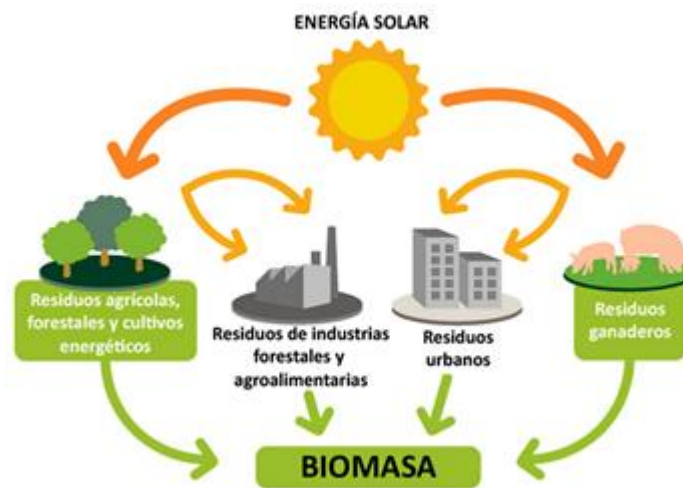


Figura 2. 2 Fuentes de obtención de biomasa

Fuente: (Eficiencia Renovable, 2014)

En el proceso de combustión se libera dióxido de carbono, que es eliminado de la atmósfera por fotosíntesis y mantiene un nivel de equilibrio de dióxido de carbono, a diferencia de la combustión de combustibles fósiles que aumentan el nivel de dióxido de carbono al liberar el carbono que era hace mucho tiempo almacenado en la tierra. El dióxido de carbono es el principal gas de efecto invernadero y el uso de biomasa es, como resultado, neutral con respecto al potencial de calentamiento global.

La biomasa como combustible tiene una serie de propiedades y cualidades especiales que la distinguen de los otros combustibles fósiles sólidos y gaseosos.

La Red de Usuarios de Biomasa (Biomass User Network, BUN-CA) señala al respecto qué, las fuentes de biomasa que son utilizadas para la producción de energía cubren un amplio rango de materiales y fuentes: los residuos de la industria forestal y la agricultura, los desechos urbanos y las plantaciones energéticas, se usan, generalmente, para procesos modernos de conversión

que implican la generación de energía a gran escala, enfocados hacia la sustitución de combustibles fósiles. Véase la figura 2.3.

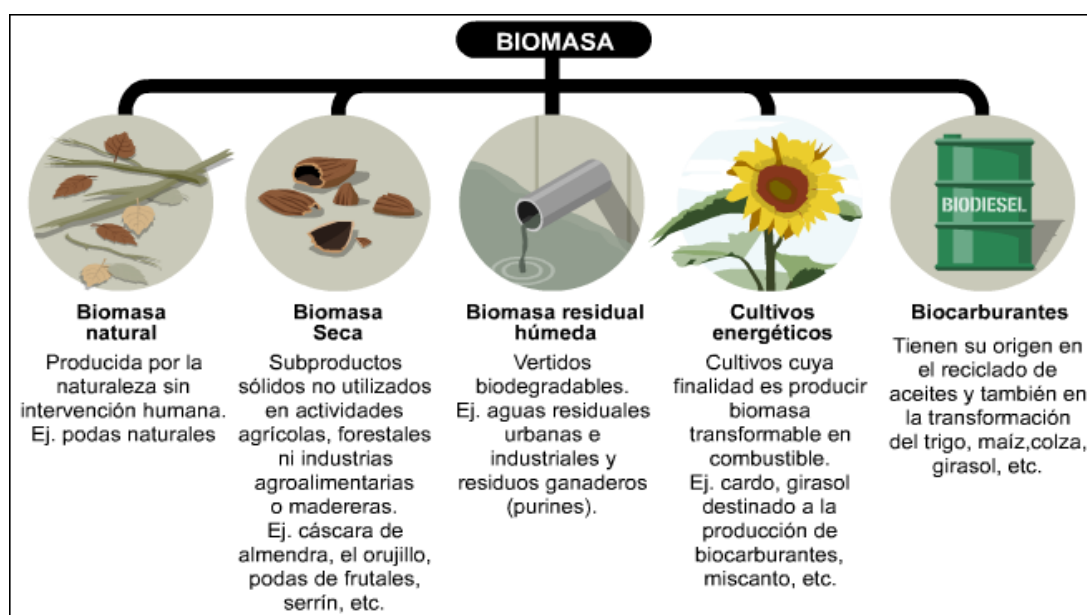


Figura 2. 3 Fuentes de biomasa y sus características

Fuente: (Arcia, 2013)

Esto en otras palabras quiere decir la biomasa genera energía si se le somete a procesos como la combustión o gasificación. Así también la biomasa se 'siembra' para producir biocombustibles, como es el caso del cultivo del girasol o a través de la recuperación de aceites residuales domésticos e industriales (Arcia, 2013). La biomasa natural o biomasa forestal para obtener energía podría provenir del rebrote del bosque nativo.

2.1.1.1 Plantaciones energéticas

La plantación de energía es la práctica de plantar árboles, puramente para su uso como combustible. Para ello se seleccionan árboles o plantas de crecimiento rápido y bajo mantenimiento, las cuales usualmente se cultivan en tierras de bajo valor productivo. Su período de cosecha varía entre los tres y los diez años. También se utilizan arbustos que pueden ser podados varias

veces durante su crecimiento, para extender la capacidad de cosecha de la plantación. (BUN-CA, 2002)

Establecer una plantación de energía requiere una intensa preparación de campo similar a la requerida por los cultivos agrícolas, por aquello ciertas plantaciones como: caña de azúcar, maíz, sorgo y trigo son utilizadas para generar energía. Igualmente, se pueden usar plantas oleaginosas como palma de aceite, girasol o soya y algunas plantas acuáticas como jacinto de agua o las algas, para producir combustibles líquidos como el etanol y el biodiesel. (BUN-CA, 2002)

Adicionalmente, este tipo de cultivos sirve para controlar la erosión y la degradación de los suelos; además puede proveer otros beneficios a los agricultores. Las plantaciones energéticas en otros países es un modelo de negocio para dueños de grandes extensiones de tierra y esto implica tener conocimiento en una serie de actividades relacionadas con el cultivo, el cuidado y aprovechamiento de bosques y montes e incluso uso de tecnología para siembra y cosecha de biomasa.

Con el objetivo de alcanzar la máxima biomasa, se deberán desarrollar sistemas de forestación y manejo forestal. Estos deben incluir la silvicultura (ciencia que trata sobre gestión de los bosques o montes forestales y los cultivos), para proporcionar rendimientos grandes y rápidos, esto repercute en oportunidades de ingresos y empleo permanentes.

Cultivar una mezcla de cultivos arbóreos para bioenergía y otros bioproductos, como madera y astillas de madera, tiene varios beneficios para los propietarios, según el informe “Bioenergía de agrosilvicultura nativa” de AgriFutures Australia (2011), puntualiza qué cultivar árboles para biomasa ofrece la posibilidad de:

- Utilizar la tierra rentablemente
- Alcanzar los objetivos de captación para aumentar la vegetación nativa.

- Conservar la biodiversidad.
- Combatir la salinidad y la erosión
- Proteger la calidad del agua y mitigar algunos de los impactos del cambio climático.

El informe hace recomendaciones para planificadores, organismos gubernamentales, proveedores de energía (consumidores de biomasa) y propietarios de tierras para crear una industria de biomasa sostenible.

Las plantaciones forestales dedicadas a la producción de madera para la energía han existido en muchos países durante algún tiempo (NAS, 1980), aunque la mayoría son pequeñas, usan tecnología poco desarrollada y generalmente se centran en el suministro de leña para el consumo local.

En las zonas templadas, hay una serie de especies arbóreas de crecimiento rápido adecuadas para plantaciones de energía, que incluyen *Acacia mangium*, *Gmelina arborea* y varias especies de *Eucalyptus*, *Salix* y *Populus* (Perley, 2008).

Las tasas de crecimiento de los árboles son muy variables dependiendo de la gestión, las especies y la ubicación. En los países tropicales, las tasas de crecimiento dependen en gran medida de la disponibilidad de agua (Lugo, Brown y Chapman, 1988). La fertilidad del suelo también es un factor. Los cultivos forestales de rotación corta requieren un mayor nivel de nutrientes que otros bosques que ocupan tierras menos en demanda de agricultura.

Brasil es uno de los pocos países donde se ha explorado la producción a gran escala de energía a partir de la madera durante décadas. Se han hecho importantes inversiones en los bosques de plantaciones, principalmente de *Eucalyptus spp.* De rápido crecimiento, dedicados a la producción de madera para carbón industrial para alimentar a la industria siderúrgica. Brasil también ha desarrollado plantaciones forestales para producir biomasa para la combustión y generación de calor y electricidad para la industria de alimentos, bebidas y otras.

Las políticas, las leyes y las pautas de mejores prácticas claras y coherentes pueden ayudar a equilibrar las compensaciones culturales, económicas y ambientales causadas por el aumento de las inversiones en plantaciones forestales (FAO, 2007). Las plantaciones de alta productividad, la cosecha eficiente y la buena logística son fundamentales para producir biomasa a un costo que permite la generación de energía a precios competitivos.

Como fuente de bioenergía, los árboles ofrecen una ventaja sobre muchos cultivos agrícolas, que generalmente deben cosecharse anualmente, lo que aumenta el riesgo de exceso de oferta y la volatilidad del mercado (Perley, 2008).

Los países que consideran el establecimiento de plantaciones de energía deben comenzar creando las condiciones para la producción eficiente de bioenergía de las plantaciones. Esto incluye el desarrollo de material genético apropiado para las condiciones locales y la tecnología avanzada para la silvicultura, la gestión de plantaciones, la recolección, el transporte y la conversión de energía.



Figura 2. 4 Algunos tipos de cultivo energético

Fuente: (Eficiencia Renovable, 2014)

Algunos países en desarrollo necesitarían invertir en investigación y desarrollo tecnológico durante varios años para convertir las plantaciones de energía de madera en un negocio atractivo. Si bien los riesgos se pueden mitigar utilizando especies adecuadas y material genético de alta calidad, los países y los inversores deben ser conscientes de que están lidiando con las incertidumbres de las inversiones a largo plazo. Un riesgo importante fuera

del control de países e inversores es la fluctuación de los precios de la energía y la madera a lo largo del tiempo.

2.1.1.1 Clasificación de biomasa por tipo de residuo

La biomasa se puede clasificar no sólo por su origen sino por el tipo de residuo tal como sugiere Faaij (2004). Los recursos biomásicos que se pueden usar para la obtención de energía son diversos. Cuando se habla del aprovechamiento de residuos, se puede hacer una distinción entre residuos primarios, secundarios y terciarios (incluyendo aquí las basuras), todos éstos grupos de subproductos se encuentran disponibles gracias al desarrollo de otras actividades o bien debido a cultivos con propósitos meramente energéticos.

Residuos de orden primario: Se obtienen durante la producción de alimentos, cultivos y explotación forestal. Ejemplos de éstos son residuos de la tala de árboles o cáscaras provenientes del proceso de producción de alimentos (principalmente granos, cereales y maíz). Este tipo de biomasa generalmente se encuentra en el campo, para su aprovechamiento se necesita una logística de recolección y almacenamiento.

Residuos de orden Secundario: Se generan durante el proceso industrial de transformación de los alimentos de cosecha en alimentos procesados. Este tipo de residuos es abundante y generalmente está disponible en grandes plantas industriales de industrias de alimentos y bebidas, madereras o papel.

Residuos de orden Terciario: Este tipo de recurso está disponible una vez la biomasa ha perdido todo su valor como bien de consumo, es decir, en esta categoría se incluyen los tipos de biomasa en forma de basuras, entre estos recursos se encuentran la materia orgánica que se recolecta por los servicios municipales de aseo, la materia orgánica de las aguas negras, madera sobrante de demoliciones y construcciones.

Por consiguiente, la cascarilla o cisco de café se clasifica como biomasa natural y como biomasa de segundo orden, pues el grano debe someterse a procesos previos de despulpe, secado y trilla antes de entregar la cascarilla como subproducto. En cuanto a la pulpa de la cereza de café, se trata igualmente de biomasa natural de segundo orden.

En la tabla 2.1 se muestra estados típicos de la biomasa y sus características

Tabla 2. 1 Estados típicos de la biomasa

Recursos de biomasa	Tipo de residuo	Características físicas
Residuos forestales	Restos de aserrío: corteza, aserrín, astillas. Restos de ebanistería: aserrín, trozos, astillas. Restos de plantaciones: ramas, corteza, raíces.	Polvo, sólido, HR ² >50% Polvo sólido, HR 30 - 45% Sólido, HR > 55%
Residuos agropecuarios	Cáscara y pulpa de frutas y vegetales. Cáscara y polvo de granos secos (arroz, café). Estiércol. Residuos de cosechas: tallos y hojas, cáscaras, maleza, pastura.	Sólido, alto contenido humedad Polvo, HR < 25% Sólido, alto contenido humedad Sólido HR >55%
Residuos industriales	Pulpa y cáscara de frutas y vegetales. Residuos de procesamiento de carnes. Aguas de lavado y precocido de carnes y vegetales. Grasas y aceites vegetales.	Sólido, humedad moderada Sólido, alto contenido humedad Líquido Líquido, grasoso
Residuos urbanos	Aguas negras. Desechos domésticos orgánicos (cáscara de vegetales). Basura orgánica (madera).	Líquido Sólido, alto contenido humedad Sólido alto contenido humedad

Fuente: (BUN-CA, 2002)

- **Composición química y física:** Las características químicas y físicas de la biomasa determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se puede generar; por ejemplo, los desechos animales producen altas cantidades de metano, mientras que la madera puede producir el denominado “gas pobre”, que es una mezcla rica en monóxido de carbono (CO). Por otro lado, las características físicas influyen en el tratamiento previo que sea necesario aplicar.

- **Contenido de humedad relativa (H.R.):** Es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%. Muchas veces, los residuos salen del proceso productivo con un contenido de humedad muy superior, que obliga a

implementar operaciones de acondicionamiento, antes de ingresar al proceso de conversión de energía. (BUN-CA, 2002). En otras palabras, es la cantidad de agua presente en la biomasa, expresada como un porcentaje del peso. Para combustibles de biomasa, este es el factor más crítico, pues determina la energía que se puede obtener por medio de la combustión. Cuando se quema la biomasa, primero se necesita evaporar el agua antes de que el calor esté disponible; por eso, cuanto más alto el contenido de humedad, menos el valor calorífico.

El valor de la humedad se puede indicar según sea en base seca o en base húmeda: en base seca se define como la fracción del peso del agua dentro de la biomasa y el peso del material seco, expresado como porcentaje.

La figura 2.5 muestra la variación del valor calorífico para diferentes cifras del contenido de humedad

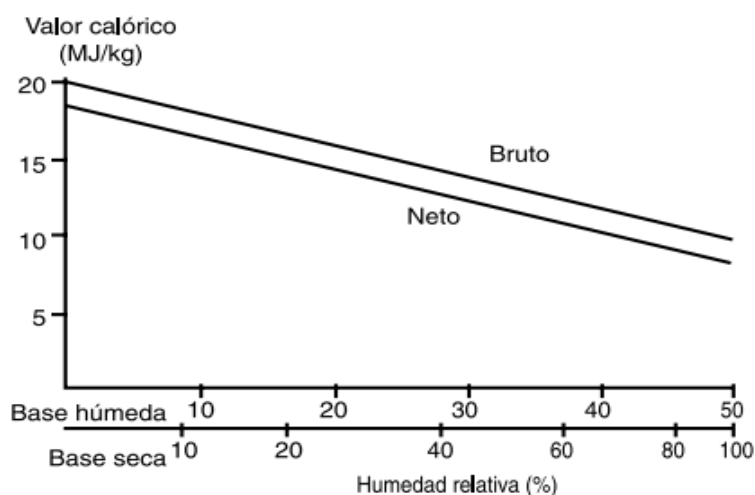


Figura 2. 5 Valor calorífico por la humedad relativa.

Fuente: (BUN-CA, 2002)

El contenido de humedad en base húmeda es la fracción del peso del agua dentro de la biomasa y el peso total del material.

El valor en base húmeda siempre es más bajo que en base seca, por lo que es muy importante indicar el método aplicado.

- **Porcentaje de cenizas:** El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material. En los procesos que

incluyen la combustión de la biomasa, es importante conocer el porcentaje de generación de ceniza y su composición, pues, en algunos casos, ésta puede ser utilizada.

El caso de la ceniza o residuo de la cascarilla de arroz es un excelente aditivo en la mezcla de concreto o para la fabricación de filtros de carbón activado. (BUN-CA, 2002).

- **Densidad aparente:** Esta se define como el peso por unidad de volumen del material en el estado físico que presenta, bajo condiciones dadas. Combustibles con alta densidad aparente favorecen la relación de energía por unidad de volumen, requiriéndose menores tamaños de los equipos y aumentando los períodos entre cargas. Por otro lado, materiales con baja densidad aparente necesitan mayor volumen de almacenamiento y transporte y, algunas veces, presentan problemas para fluir por gravedad, lo cual complica el proceso de combustión, y eleva los costos del proceso. (BUN-CA, 2002).

- **Poder calórico:** El contenido calórico por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa. Su poder calórico está relacionado directamente con su contenido de humedad. Un elevado porcentaje de humedad reduce la eficiencia de la combustión debido a que una gran parte del calor liberado se usa para evaporar el agua y no se aprovecha en la reducción química del material.

Los elementos químicos más importantes son carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), y azufre (S) y, en algunos casos, cloro (Cl). Además, contiene oxígeno (O), lo cual no se determina directamente, sino que se calcula como diferencia entre el peso total y la suma de los otros elementos, más la ceniza (BUN-CA, 2002).

La tabla 2.2 muestra la composición para varios tipos de biomasa. Se incluye el carbón mineral como punto de comparación.

Tabla 2. 2 Constitución química de diversas formas de biomasa.

Tipo de biomasa	Porcentaje del peso (sin humedad)						
	C	H	N	O	S	Cl	Ceniza
Madera							
Sauce	47,66	5,2	0,3	44,70	0,03	0,01	1,45
Madera suave	52,10	6,10	0,20	39,90	-	-	1,70
Corteza de madera dura	50,35	5,83	0,11	39,62	0,07	0,03	3,99
Madera dura	50,48	6,04	0,17	42,43	0,08	0,02	0,78
Eucalipto	50,43	6,01	0,17	41,53	0,08	0,02	1,76
Roble	49,89	5,98	0,21	42,57	0,05	0,01	1,29
Corteza de pino	52,30	5,80	0,29	38,76	0,03	0,01	2,90
Aserrín pino	52,49	6,24	0,15	40,45	0,03	0,04	0,60
Sub-productos agrícolas							
Brizna de trigo	39,07	4,77	0,58	50,17	0,08	0,37	4,96
Caña de azúcar	44,80	5,35	0,38	39,55	0,01	0,12	9,79
Bagazo de caña	46,95	5,47	0,38	39,55	0,01	0,12	9,79
Paja de arroz	39,65	4,88	0,92	35,77	0,12	0,50	18,16
Cascarilla de arroz	38,68	5,14	0,41	37,45	0,05	0,12	18,15
Paja de maíz	46,91	5,47	0,56	42,78	0,04	0,25	3,99
Ojote de maíz	47,79	5,64	0,44	44,71	0,01	0,21	1,2
Fibra de coco	50,29	5,05	0,45	39,63	39,63	0,28	4,14
Carbón mineral	71,70	4,70	1,3	8,30	0,64	0,060	20,70

Nota: (BUN-CA, 2002)

Todas las formas de biomasa tienen un valor calorífico, el cual se expresa como la cantidad de energía por unidad física; por ejemplo, joule por kilogramo. Esta es la energía que se libera en forma de calor cuando la biomasa se quema completamente.

El valor calorífico se puede anotar de dos formas diferentes: bruto y neto. El bruto se define como la cantidad total de energía que se liberaría vía combustión, dividido por el peso. El neto es la cantidad de energía disponible después de la evaporación del agua en la biomasa; es decir, es la cantidad de energía realmente aprovechable, y siempre es menor que el valor calorífico bruto. (BUN-CA, 2002).

Para madera completamente seca, la cantidad de energía por unidad de peso es más o menos igual para todas las especies, con un promedio de valor calorífico bruto de 20 MJ/kg para madera de tronco. Los valores pueden variar

ligeramente de este promedio, según el contenido de ceniza: para ramas pequeñas, tienden a ser más bajos y más variables. Sin embargo, en la práctica, la humedad relativa es el factor más importante que determina el valor calorífico (BUN-CA, 2002).

En la tabla 2.3 se aprecian indicadores de valor calórico de biomasa.

Tabla 2. 3 Valor calórico de algunos tipos de biomasa

Tipo de Biomasa	Valor calorífico bruto (MJ/kg)
Madera	
Astilla de madera	20,89
Corteza de pino	20,95
Desechos industriales de madera	19,00
Sub-productos agrícolas	
Paja de trigo	18,94
Caña	18,06
Bagazo	18,09
Cáscara de coco	18,60
Olote de maíz	17,72
Paga de arroz	15,61
Cascarilla de arroz	15,58
Aserrín	19,34

Fuente: (BUN-CA, 2002)

2.2 Transformación de biomasa

La transformación de la Biomasa en energía, también llamada Bioenergía, comprende un amplio y diverso grupo de fuentes biomásicas, procesos de transformación y requerimientos de infraestructura de acuerdo al uso final que se desee dar a la energía. Los métodos de conversión incluyen desde procesos simples y tradicionales, como la producción de carbón vegetal en hogueras bajo tierra; hasta procesos de alta eficiencia como la dendroenergía y la cogeneración.

A continuación, se presentan los procesos de conversión de biomasa más relevantes, los cuales se pueden clasificar en tres categorías:

- Procesos de combustión directa.
- Procesos termo-químicos.

- Procesos bio-químicos.

Se analiza el proceso termoquímico de transformación.

2.2.1 Métodos Termoquímicos de transformación.

Los procesos termoquímicos son principalmente tres:

1. Combustión
2. Pirolisis y
3. Gasificación,

2.2.1.1 Combustión

La combustión de un combustible se puede definir como la oxidación total del mismo para producir energía principalmente y algunos subproductos como dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O). En el caso de la biomasa el proceso consta de varios pasos fundamentales:

En primer lugar, la biomasa debe ser secada, gran parte de los recursos biomásicos tienen un alto contenido de agua, entre mayor sea el contenido de agua más difícil resulta su aprovechamiento para la producción de energía (Faaij, 2004).

A continuación, sigue el proceso de pirolisis en el cual, la materia orgánica es descompuesta por calentamiento en ausencia de oxígeno (O_2). En este proceso se forma carbón y alquitrán, así como algunos gases combustibles. El siguiente paso en la combustión de la Biomasa es la Gasificación. Aquí se forman gases combustibles, principalmente metano. Finalmente, el último paso de la cadena es la combustión final en la que los gases se combinan con oxígeno para formar dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O) y otros subproductos que dependen de los componentes del combustible Biomásico, adicionalmente se generan cenizas. (BUN-CA, 2002).

La combustión de la biomasa es usada en un amplio margen de equipos para transformar la energía química almacenada en la biomasa en calor, energía

mecánica o electricidad, tal como estufas, turbinas de vapor, turbo-generadores, etc. La combustión de la biomasa produce gases calientes a temperaturas entre los 800 – 1000 °C.

Es posible quemar cualquier tipo de biomasa, sin embargo, en la práctica la combustión es únicamente viable en biomasa con un contenido de humedad inferior al 50% a no ser que esta se someta a un proceso de secado antes de su combustión. Para biomasa con contenidos de humedad superiores es mucho mejor usar procesos de transformación bioquímicos (McKendry, 2002).

La combustión de biomasa es la técnica más utilizada para obtener energía del recurso, sea en forma de calor o para la generación de electricidad. Los calentadores domésticos alcanzan eficiencias hasta del 70%. La tecnología predominante sin embargo para la generación de electricidad se emplean calderas de pequeño poder, cerca de 1MW, donde la combustión directa de la biomasa es usada para generar vapor, que luego es introducido a través de una turbina, sin embargo, según McKendry (2002) en estas tecnologías las eficiencias rondan entre el 20% y el 40%.

Los gases resultantes de la combustión de la biomasa pueden ser usados para una amplia variedad de aplicaciones tales como:

- Pequeños sistemas de producción de calor para calefacción directa de hogares, cocción de alimentos y calentamiento de agua.
- Producción de calor a mayor escala para calefacción de comunidades y pequeños procesos industriales.
- Alcance de altísimas temperaturas para la producción de vapor con propósitos industriales y generación de energía eléctrica a gran escala usando turbinas o motores de vapor (Arenas, 2009).

En la figura 2.6 se muestra un esquema del método por combustión, se describe los nombres de las partes del sistema por combustión:

1. Alimentador al quemador.
2. Horno.

3. Ventilador.
4. Entrada de gases al secador.
5. Alimentador húmedo.
6. Secador dinámico.
7. Ciclón.
8. Ventilador de tiro inducido.
9. Ventilador de tiro forzado.
10. Quemador rotatorio.
11. Alimentador de los RAC.

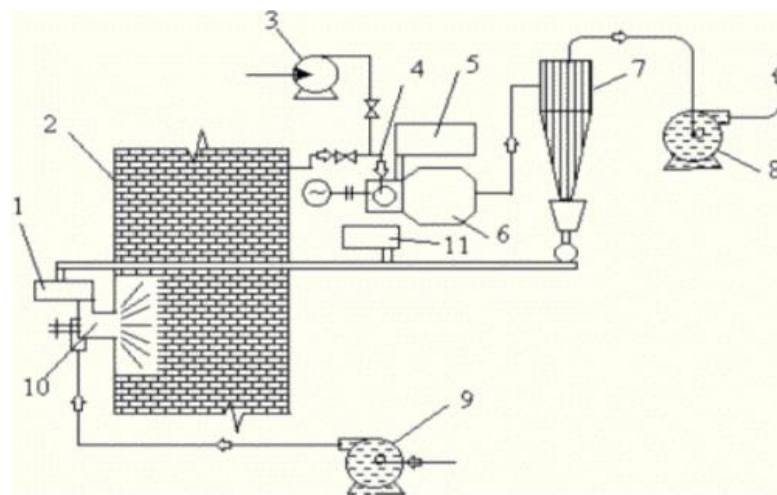


Figura 2. 6. Sistema por combustión directa de residuos de biomasa

Fuente: (Loaiza, 2015)

La eficiencia de las calderas es definida como el porcentaje del potencial energético del combustible que es convertido a energía en forma de vapor.

Los factores más incidentes en la eficiencia de la biomasa son el contenido de humedad del combustible, el exceso de aire introducido en la caldera al momento de la combustión y el porcentaje de material parcialmente o no incinerado. El rango general de eficiencia de un horno tipo parrilla y un sistema de caldera fluidizado es cercano al 65 y 95%, respectivamente. (Loaiza, 2015).

En general el tipo y la disponibilidad del combustible tienen una mayor incidencia en el nivel de eficiencia, ya que material con alto poder calorífico y

bajo contenido de humedad puede rendir con un 25% de mayor eficiencia que combustibles de bajo poder calorífico y alta humedad. (Loaiza, 2015).

Adicionalmente, las calderas de biomasa son típicamente operadas con un considerable exceso de aire, de manera tal que pueda ocurrir combustión completa del material, pero esto tiene un impacto negativo en los niveles de eficiencia (Loaiza, 2015).

En la tabla 2.4 se presenta un resumen con ventajas, desventajas y aplicaciones comunes de la tecnología por combustión.

Tabla 2. 4 Aplicaciones comunes de la tecnología por combustión

Tecnología de Combustión	Ventajas	Desventajas	Principales aplicaciones
Estufas y calderas de alimentación inferior	Bajo costo, control sencillo.	Alta calidad y cantidad en el suministro de combustible	Generación de calor, en algunos casos hasta 6MWh para comunidades.
Hornos de parrilla	Bajo costo de proceso, infraestructura resistente a la escoria.	Dificultad para usar mezclas de combustible. La combustión no es homogénea, generando emisiones indeseables.	Usual en la incineración de basuras. Se puede llegar a producir una potencia de hasta 20–30MWe.
Combustión de polvo (Dust combustion)	Alta eficiencia, buen control sobre la carga de biomasa, bajas emisiones de óxidos nitrosos.	Se requiere biomasa peletizada o en partículas diminutas. Se necesita el uso de revestimiento especial para el horno de combustión.	Su uso no es común salvo en instalaciones que tengan abundancia de biomasa en forma de aserrín o polvo.
Tecnología de Lecho fluidizado Burbujeante (BFB)	Alta flexibilidad en el uso de material con alta humedad, baja emisiones de óxidos nitrosos, alta eficiencia, bajo flujo	Altos costos de infraestructura y operación. La biomasa requiere ser tratada previo a su uso. Gases con	Capacidad de producción de hasta 20 MWh. Tecnología en plantas para alta capacidad de producción y en
	de gases.	alta cantidad de partículas, generación de ceniza, la escoria producida maltrata los equipos.	capacidad de recibir diversidad de combustibles.
Lecho de fluido circulante (CFB)	Alta flexibilidad de combustibles respecto a factores como humedad, bajas emisiones de óxidos nitrosos, buena eficiencia y transmisión de calor.	Altos costos de infraestructura y operación. La biomasa requiere ser tratada previo a su uso. Gases con alta cantidad de partículas, generación de ceniza, la escoria producida maltrata los equipos. Proceso improductivo para cargas parciales de combustible	Capacidad de producción de hasta 30 MWh. Tecnología en plantas para alta capacidad de producción y en capacidad de recibir diversidad de combustibles. Existen cerca de 300 plantas de est estilo en el mundo

Fuente: (Arenas, 2009)

El uso de la combustión como una tecnología de aprovechamiento es ampliamente aceptado para la generación de calor, sin embargo, su potencial en la generación de energía eléctrica se reduce a plantas con un gran potencial de generación e inversión.

2.2.1.2 Pirolisis

La pirolisis es la transformación de la biomasa en fracciones líquidas, sólidas y gaseosas a partir del calentamiento de la biomasa en ausencia de aire a temperaturas cercanas a los 500 °C. La pirolisis puede ser usada para producir bio-combustibles” principalmente usando la técnica de “bio-flash” posibilitando de esa forma la producción de bio-crudo a partir de biomasa con una eficiencia superior al 80%. (Arenas, 2009).

El bio-crudo puede ser usado en motores e igualmente como materia prima para refinerías. Sin embargo, estos crudos presentan problemas en su producción tales como la poca estabilidad térmica y su poder corrosivo. Existen algunos procesos tales como reducción de la cantidad de oxígeno en la mezcla y la remoción de todos los compuestos alquénicos por medio de hidrogenación y rompimiento catalítico de las moléculas (Arenas, 2009).

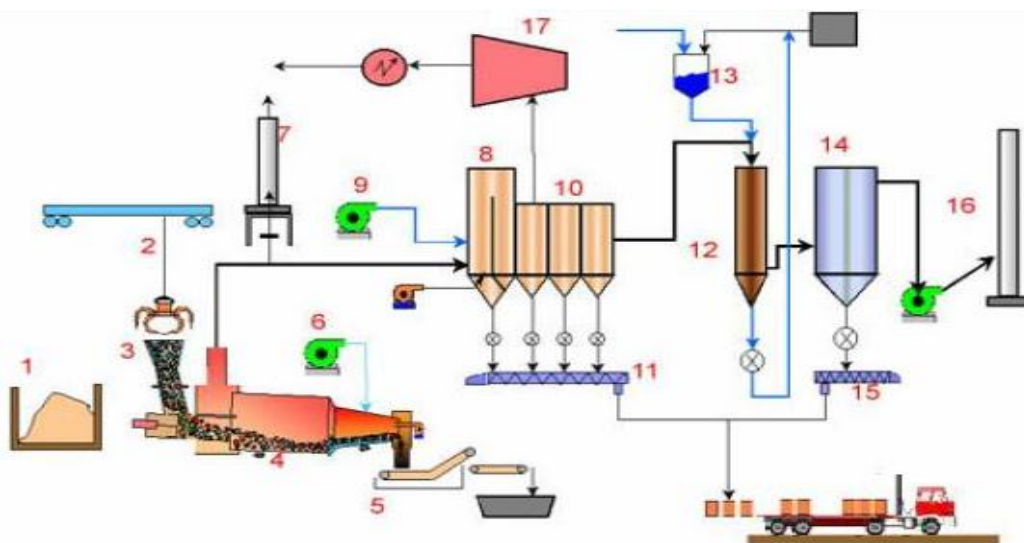


Figura 2. 7 Proceso de pirolisis con producto final

Fuente: (Mírez, 2012)

Las partes del sistema de pirólisis de la figura 2.7 son:

1. Foso
- 2 y 3. Sistema de alimentación residuos sólidos urbanos
4. Reactor de Pirólisis
5. Extractor de productos sólidos (char)
- 6 y 9. Bombas del sistema
7. Tanque de combustión
8. Post tanques de combustión
10. Calder de recuperación
- 12-15 Sistema de tratamiento de gases
16. Chimenea
17. Turbina

2.2.1.3 Gasificación

La gasificación es un proceso de degradación total consistente en una serie de procesos térmicos y termoquímicos que convierten todo el carbono (C) en la biomasa en un gas, dejando adicionalmente un residuo inerte. La gasificación es un proceso de conversión térmica incompleta, donde el combustible sólido es transformado parcialmente a un gas mediante un proceso de oxidación a muy altas temperaturas. Como producto principal se obtiene un gas combustible compuesto por hidrógeno, metano y monóxido de carbono. La calidad y composición del gas producido en la gasificación termoquímica depende del agente gasificador y del lecho de gasificación utilizado. (Loaiza, 2015).

Es un tipo de pirólisis en la que se utiliza una mayor proporción de oxígeno a mayores temperaturas, con el objetivo de optimizar la producción del llamado “gas pobre”, constituido por una mezcla de monóxido de carbono, hidrógeno y metano, con proporciones menores de dióxido de carbono y nitrógeno.

La gasificación es una alternativa con mejores rendimientos que la combustión en calderas. El empleo de motores diesel o de turbinas de gas para quemar el gas introducido puede elevar el rendimiento a valores por encima del 30% con fin último de generación eléctrica, sin embargo, ésta es una opción poco extendida. (Loaiza, 2015).

Algunas consideraciones importantes sobre la gasificación de la biomasa son:

- El gas debe ser, generalmente, purificado ya que contiene impurezas, tóxicos y otros gases que pueden entorpecer el proceso de combustión posterior.
- El gas biomásico puede ser usado para generar energía a través de calentadores de agua, motores y turbinas de gas, generando emisiones netas casi nulas. (respecto al ciclo de la biomasa) (Arenas, 2009).

Un esquema de gasificación, clasificados por el lugar de ingreso del agente gasificante, se muestra en la figura 2.8.

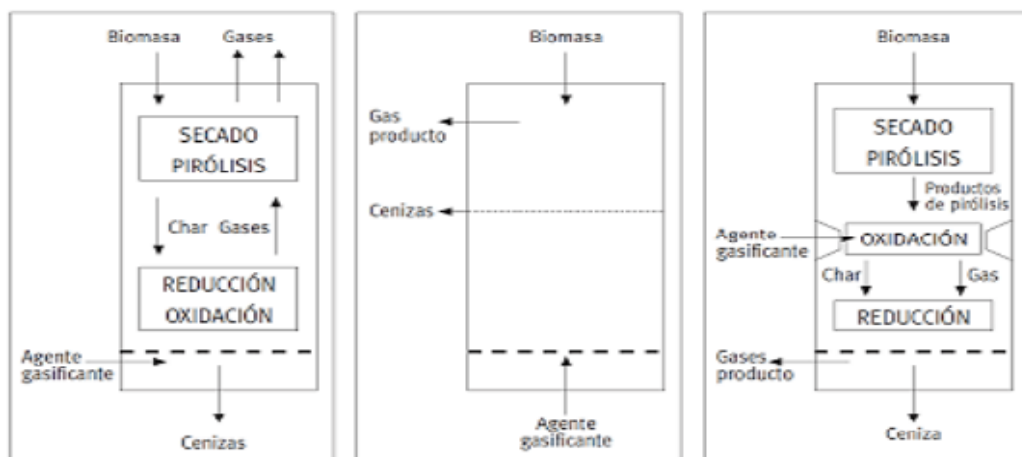


Figura 2. 8 Proceso de ingreso del agente gasificante

Fuente: (Arenas, 2009)

El principal problema que presenta la gasificación de biomasa como tecnología para la generación eléctrica es la limpieza del gas resultante del proceso de las impurezas que lo acompañan, por lo que, dentro de las tecnologías, se deben considerar los costos de los equipos de limpieza y/o filtros purificadores.

Para la producción de syngas (gas de síntesis), se requiere una serie de pasos. El primero de ellos, llamado pirolisis, consiste en calentar la materia prima a altas temperaturas en ausencia de oxígeno, evitando así su combustión. Esto es realizado utilizando entre un quinto a un tercio del oxígeno requerido para la combustión completa. De esta forma sucede la descomposición térmica del material, produciendo una fracción gas (syngas), líquida (alquitrán) y sólida (char) (Fatih Demirbas, et al., 2011).

2.2.2 Tecnologías y reactores de gasificación.

El gasificador es el principal equipo en una planta de gasificación, este es responsable de obtener la composición del gas deseada y de garantizar una producción estable para las aplicaciones aguas abajo. Los gasificadores se clasifican por el método de contacto que utilizan entre las fases sólida (biomasa) y gaseosa (agente oxidante).

Según el tipo de contacto, las características y capacidades de los reactores difieren considerablemente (Ver Tabla 2.5) y pueden agruparse en tres tipos: Gasificadores de lecho fijo, lecho fluidizado y de arrastre.

Tabla 2. 5 Características de los diferentes modelos de gasificador

Parámetro	Lecho fijo/ móvil	Lecho fluidizado	Arrastre
<i>Aplicación</i>	Baja	Media	Alta
<i>Tamaño de partícula</i>	< 51mm	< 6mm	< 0.15mm
<i>Temperatura de salida</i>	450 – 650°C	800 –1000°C	>1260°C
<i>Tolerancia</i>	Carbón	Carbón y biomasa	Carbón
<i>Temperatura reacción</i>	1090 °C	800 –1000°C	1990°C
<i>Requerimiento de vapor</i>	Alta	Media	Baja
<i>Naturaleza de cenizas</i>	seca	seca	lodo
<i>Eficiencia de gas frío</i>	80%	89%	80%
<i>Problemas operación</i>	Produce alquitrán Los finos elevan la caída de presión.	Conversión de carbón	Enfriamiento del gas

Fuente: (Arteaga, Ledon, & Cabrera, 2014)

2.2.2.1 Gasificadores de lecho fijo/móvil

En los reactores de lecho fijo/móvil las fases se ponen en contacto según el modelo de flujo en pistón. La biomasa se mueve lentamente como un pistón mientras se pone en contacto con un flujo de agente oxidante. Según la dirección del flujo de biomasa, estos reactores son de flujo ascendente (Figura 2.9a), descendente (Figura 2.9b), o cruzado y su capacidad varía desde 10 kW hasta 10 MW de carga térmica inicial.

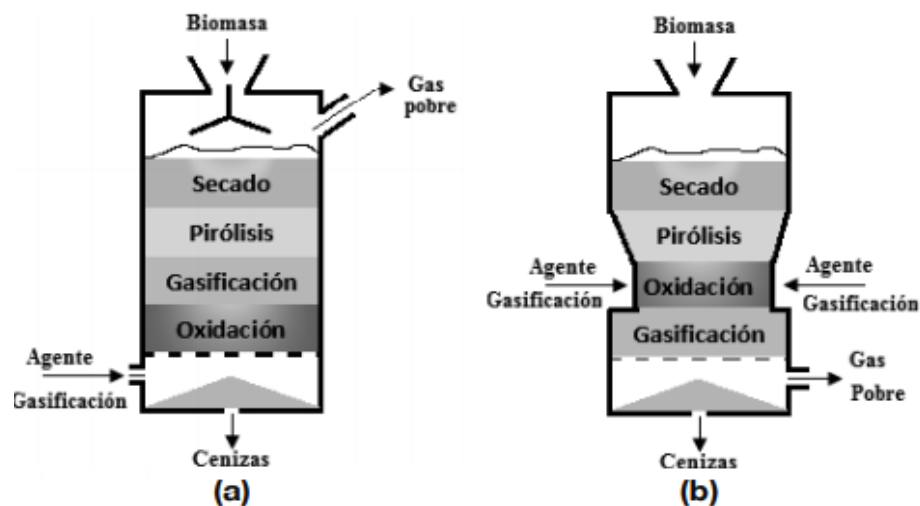


Figura 2. 9 Flujo ascendente (a) y descendente (b) con zonas de reacción

Fuente: (Arteaga, Ledon, & Cabrera, 2014)

En estos reactores se pueden tratar tamaños de partículas que oscilan desde 1 hasta 100 mm, su eficiencia de gas caliente es de 75 - 95% y producen un gas pobre con 6 MJ/Nm³ de vehículos de combustión interna VCI. Las dificultades fundamentales radican en la baja eficiencia de transferencia de calor lo cual provoca disformidad en la distribución de temperaturas y aglomeración de combustible (Arteaga, Ledon, & Cabrera, 2014).

Los reactores de lecho fijo combinan las zonas operacionales definidas en la Figura 2.9. Por ejemplo, en un reactor de flujo ascendente, la biomasa se alimenta por el tope, y el agente oxidante por el fondo de manera que la primera fase en contacto son las cenizas y el carbón no convertido y posteriormente toma lugar la pirólisis, la gasificación y por último el secado de la biomasa. Los gases en estos reactores abandonan por el tope.

2.2.2.2 Gasificadores de lecho fluidizado

Los gasificadores de lecho fluidizado presentan un excelente mezclado entre las fases y una distribución uniforme de temperaturas. El lecho está conformado por un material granular que puede ser inerte (arena de sílice) o un material con propiedades catalíticas (olivinas).

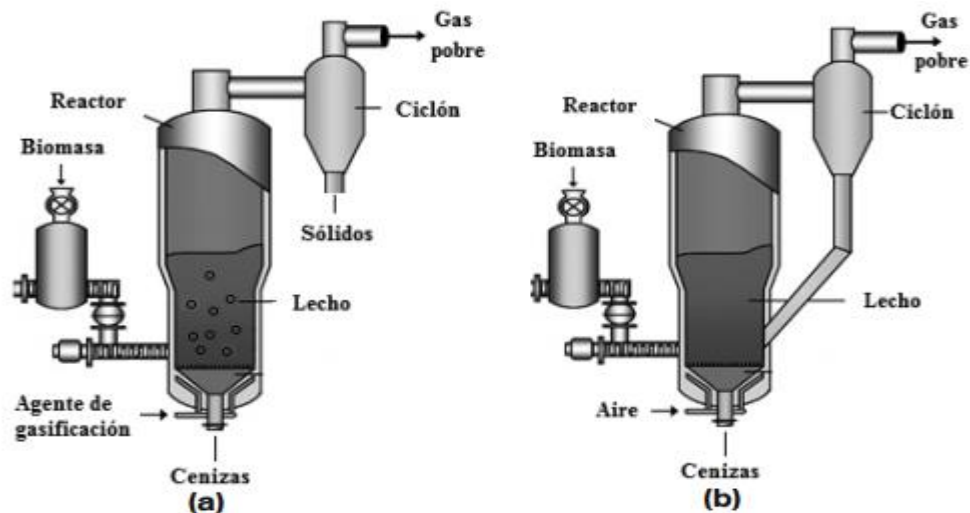


Figura 2. 10 Gasificadores de lecho fluidizado, burbujeante (a), circulante (b).

Fuente: (Arteaga, Ledon, & Cabrera, 2014)

Estos equipos son particularmente ventajosos para convertir biomasa y su producción de alquitranes varía de 1 a 50 g/Nm³, lo cual se promedia con fines prácticos a 10 g/Nm³. Hay dos tipos fundamentales de lecho: burbujeante y con recirculación.

En los reactores de lecho burbujeante el agente oxidante se alimenta por el fondo y conforma el medio de fluidización. Las partículas de biomasa se ponen en contacto con el lecho previamente calentado provocando un rápido secado y posterior pirólisis. En estos equipos la conversión de carbón no es completa debido al mezclado continuo por lo que las partículas que dejan el reactor están total o parcialmente gasificadas. (Arteaga, Ledon, & Cabrera, 2014).

Generalmente los sólidos parcialmente convertidos, se reutilizan como fuente de calor en el mismo proceso. La aplicación del lecho burbujeante es a

mediana escala (< 25 MW térmicos), y a baja (800°C) o alta temperatura (1000 °C), presiones atmosféricas o altas presiones (10 bar) con flexibilidad para tratar biomasa de diferentes características. El agente de gasificación se alimenta generalmente en dos etapas una por el fondo para mantener el lecho en suspensión y otra fracción por la parte superior para incrementar la conversión de los carbones parcialmente gasificados (Arteaga, Ledon, & Cabrera, 2014).

Los gasificadores de lecho circulante están compuestos por un lecho para la conversión de biomasa, un ciclón y un dispositivo para la recirculación de sólidos. La velocidad de fluidización (3.5 - 5.5 m/s) es superior a la de los lechos de burbujeo (0.5 - 1 m/s) y junto a la recirculación deben mantener el reactor en régimen de fluidización rápida. Existen plantas instaladas de hasta 60 MW térmicos.

La configuración y el modo de operación de los lechos con recirculación son análogos a la de los craqueadores catalíticos de la industria petroquímica. La temperatura de operación varía entre 800 y 1000 °C para prevenir el burbujeo de cenizas. La inercia térmica y el mezclado vigoroso favorecen el trabajo con diferentes tipos de biomasa (Arteaga, Ledon, & Cabrera, 2014).

2.2.2.3 Gasificadores con arrastre

Estos equipos son adecuados para la integración con ciclos combinados. Operan a 1400 °C y presiones de 20 – 70 bar. Generalmente el material previamente pulverizado (menor 80µm) y mezclado con agua se alimenta junto al agente oxidante dentro de la cámara del reactor

La velocidad del gas es tal que facilita la transferencia de masa, aunque el consumo es un 20% superior a los sistemas que operan de manera seca. La transferencia de calor al gas es rápida y este alcanza la temperatura de reacción inmediatamente, sin embargo, en el caso de la fase sólida se comporta como un pistón. Estos reactores se han aplicado a gran escala para convertir carbón, coque de petróleo y residuos de refinerías. Los carbones de alta humedad y biomasa resultan problemáticos y disminuyen la eficiencia de

gas frío. La factibilidad de estos reactores para tratar biomasa es baja debido a que provocan fusión de la ceniza con álcali y la reducción de tamaño para la biomasa en los límites es sumamente complicada.

2.2.2.4 Reactores de plasma

Los reactores de gasificación por plasma operan a elevadas temperaturas y tienen capacidad para convertir los hidrocarburos más complejos de la estructura a moléculas gaseosas sencillas. Estos equipos se han utilizado en el procesamiento de residuos sólidos urbanos con buenos resultados. Las elevadas temperaturas provocan la fusión de los inorgánicos que suelen estar en alto porcentaje cuando se tratan residuos. La energía proviene de un arco eléctrico formado por dos electrodos entre los que fluye un gas inerte y hacen que la temperatura de la zona de reacción alcance entre 2500 – 4500 °C. (Arteaga, Ledon, & Cabrera, 2014).

Los gases de gasificación abandonan el reactor a 1000 °C. La presencia de compuestos clorados limita la vida útil del reactor. La elevada temperatura de reacción hace que estos reactores sean insensibles al tipo de biomasa y están en capacidad de convertir prácticamente cualquier materia prima (Basu, 2010)

Limpieza de los gases de gasificación

Los gases de gasificación contienen gran cantidad de impurezas que afectan la eficiencia de los procesos de termo-conversión instalados después del reactor. La calidad del gas está definida por el modelo de reactor, la composición química de la biomasa, la temperatura y la relación de equivalencia. De aquí que la eliminación de estas sustancias indeseables es uno de los retos fundamentales de esta tecnología.

La limpieza de estos gases se desarrolla por métodos primarios: que se realizan antes o durante el proceso de gasificación e involucran el pre tratamiento de la biomasa, la utilización de materiales catalíticos mezclados con la biomasa o en el lecho de los reactores de fluidización. Los métodos

secundarios a su vez pueden ser de gas seco (caliente) o de gas húmedo. Las tecnologías de gas caliente operan por encima de 500 °C. (Arteaga, Ledon, & Cabrera, 2014).

Los métodos de gas húmedos se aplican con gases a 20 - 60 °C, por lo que no son adecuadas para aplicaciones energéticas ya que involucra pérdidas de eficiencia al tener que enfriar el gas para su limpieza y luego calentarlo para utilizarlo en la generación de energía. La limpieza de baja temperatura se desarrolla fundamentalmente en lavadores (scrubbers), precipitadores electrostáticos en medio húmedo y torres de spray. (Arteaga, Ledon, & Cabrera, 2014).

2.3 Aplicaciones de las tecnologías de gasificación de biomasa

La gasificación integrada con tecnologías de generación de calor y electricidad es el centro de atención de varios grupos investigativos a nivel internacional. En el presente artículo se ofrece una panorámica de las alternativas más prometedoras y se definen los retos fundamentales.

2.3.1 Generación de electricidad por gasificación

Aunque el concepto de generar electricidad con biomasa no es nuevo, en la última década ha habido un incremento en el interés de desarrollar tecnologías altamente eficientes con este propósito. La biomasa es particularmente atractiva para estaciones de baja capacidad (<10MW) y exhibe índices de eficiencia de alrededor de 35 - 40% o sea por encima de los ciclos tradicionales (<30%). Las aplicaciones más extendidas de gas pobre son: turbinas de gas, ciclos combinados, la producción de químicos y, más recientemente, la generación de energía en las celdas de combustible de alta eficiencia (Sadhukhan, Zhao, & Shah, 2010).

Una de las plantas más exitosas para producir calor y electricidad a partir de biomasa es la instalada en Austria (Güssing), esta cuenta con un gasificador de lecho fijo con recirculación y capacidad de 2 MW de electricidad y 4.5 MW térmicos. Los gases calientes limpios se utilizan en un equipo de combustión

interna y en un ciclo combinado (CHP) (Rentizelas, Karellas, & Kakaras, 2009).

Un estudio de las tecnologías relacionada considero los aspectos de preparación, gasificación, limpieza de gases: Los resultados de esta investigación favorecen el uso de tecnologías de producción integrada en ciclos combinados a turbina de gas (Biomass Integrated Gasification Combined Cycle, B-IGCC).

Los elementos básicos de una planta que integra gasificación y ciclo combinado (B-IGCC) incluyen un secador de biomasa, gasificador, sistema de limpieza, turbina de gas alimentada por gas derivado de la biomasa, un generador de vapor recuperativo, y una turbina de vapor. (Arteaga, Ledon, & Cabrera, 2014).

En la figura 2.11 se muestra un diagrama de un proceso integrado de gasificación con ciclo combinado.

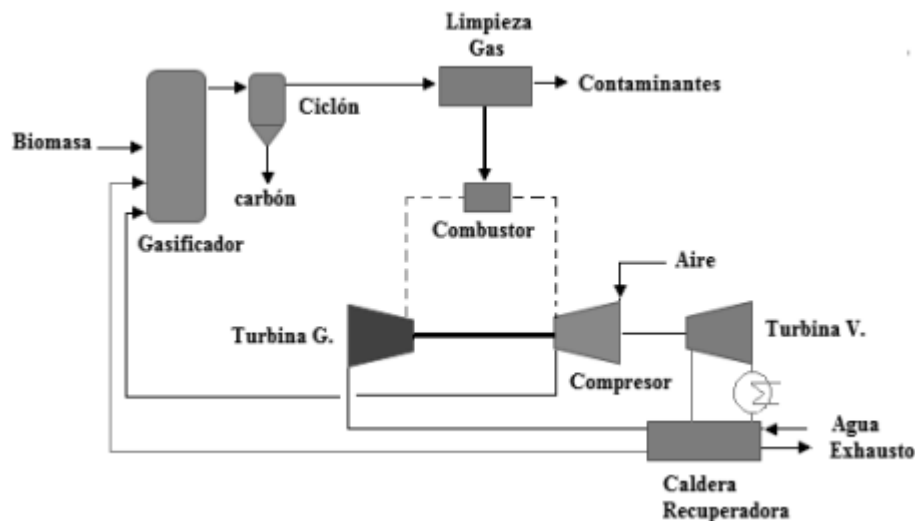


Figura 2. 11 Esquema integrado de gasificación con ciclo combinado

Fuente: (Arteaga, Ledon, & Cabrera, 2014)

Pelegrini y Oliveira (2007) trataron las cuestiones económicas y ambientales asociados a los GB-IGCC y la producción combinada de azúcar, etanol y energía eléctrica. Estos autores demostraron que el excedente de energía eléctrica obtenida por cogeneración mejora el rendimiento exergo-ambiental

del sistema y que los sistemas de cogeneración modernos pueden producir 2.5 veces la electricidad obtenida por medios tradicionales, generando de esta manera un beneficio económico notable para la fábrica.

En otro trabajo, Soltani, Mahmoudi, Yari & Rosen (2013) informaron de un análisis exergético avanzado para una central eléctrica de ciclo combinado alimentada externamente con biomasa. Llegaron a la conclusión de que la red de intercambiadores de calor es un elemento esencial para disminuir la destrucción de exergía. La eficiencia de exergía sistema fue de 34 %.

La integración de las unidades de conversión de biomasa con pilas de combustible es una tecnología prometedora para alcanzar la viabilidad económica de la producción de calor y electricidad.

En la figura 2,12 se muestra un esquema integrado de gasificación con celda combustible y turbina de gas.

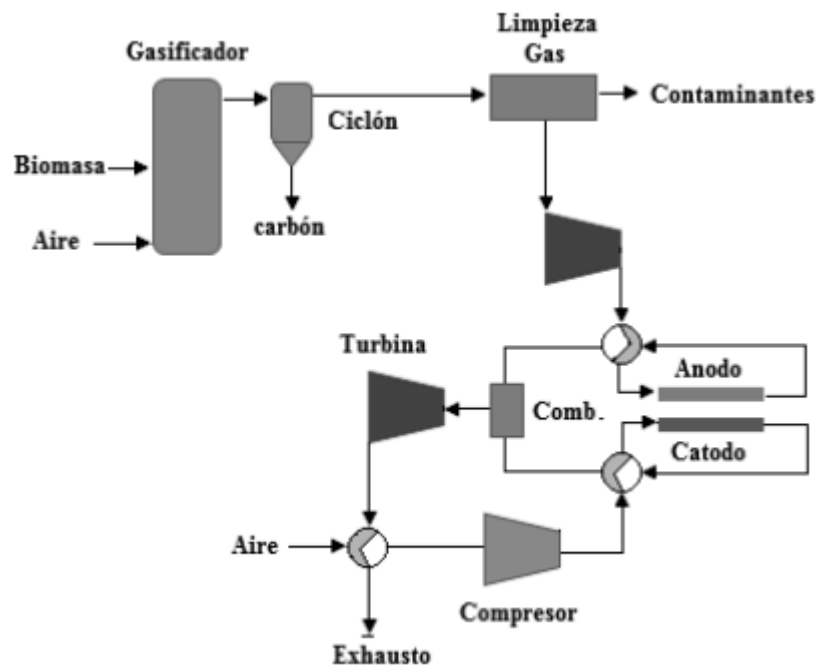


Figura 2. 12 Esquema integrado de gasificación con celda combustible y turbina de gas

Fuente: (Arteaga, Ledon, & Cabrera, 2014)

Entre los diversos tipos de celdas combustible, las pilas SOFC y MCFC son las más atractivas debido a su alta eficiencia en la conversión de energía, la

modularidad, compatibilidad ambiental, y a que favorecen reacciones in-situ para la conversión del gas a altas temperaturas (600 – 1000 °C) (Pellegrini & Oliveira, 2007)

Omosun, Bauen & Brandon (2004) investigaron la integración de la producción combinada de calor y electricidad (CHP) de biomasa y celdas combustibles. La eficiencia teórica global fue de 60% para el proceso en caliente, mientras que el proceso en frío exhibió eficiencia del 34%. Además, Panopoulus y otros. (2006) informaron de un sistema similar de capacidad inferior a 1 MW. Se demostró que el gas de escape de (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC) puede proporcionar el calor requerido por las reacciones de gasificación a una eficiencia eléctrica del 36%.

Sadhukhan, Zhao & Shah, (2010) realizaron un análisis de una celda combustible integrada con un ciclo combinado de gasificación de biomasa (B-IGCC). Los autores definen el amplio espectro de estrategias de integración y también indicaron que los gases de salida de la pila pueden reciclarse como una fuente de combustible y humedad.

En la Tabla 2.6 se muestra el resumen de algunos indicadores de eficiencia para diferentes sistemas de producción de calor y electricidad integrados a la gasificación de biomasa.

Tabla 2. 6 Indicadores de eficiencia por gasificación integrados a producción de energía.

Esquema	Biomasa	Eficiencia (%)
GB-SOFC	Paja	No
GB -SOFC	Bagazo de caña	32
GB -SOFC	Madera	30.4
G-SOFC	Residuos de aceituna	36
GB -H ₂ Plant	Aceite de palma	19
GB-SOFC	Residuos de aceituna	36
CEST	Bagazo de caña	16 - 28
B-IGCC	Bagazo de caña	30
Caldera	Bagazo de caña	24 - 34
B-IGCC	Mazorcas	28
B-IGCC	Papel	34

Nota: GB-SOFC: Gasificación de biomasa integrada a pila SOFC

GB-H₂Plant: Gasificación integrada a la producción de hidrógeno

B-IGCC: Gasificación integrada con ciclo combinado

CEST: Turbinas de vapor con extracción.

Es notable el incremento de la eficiencia en los sistemas integrados a celdas combustibles y a ciclos combinados con turbinas de gas. La eficiencia de referencia es la exergética (La exergía hace referencia a la utilidad potencial de una determinada fuente de energía) por lo que los valores son un alto referente para comprender la capacidad de aprovechar la energía contenida en la biomasa.

En la figura 2.13 se muestra un resumen de aplicaciones de la biomasa para la generación de calor o electricidad.

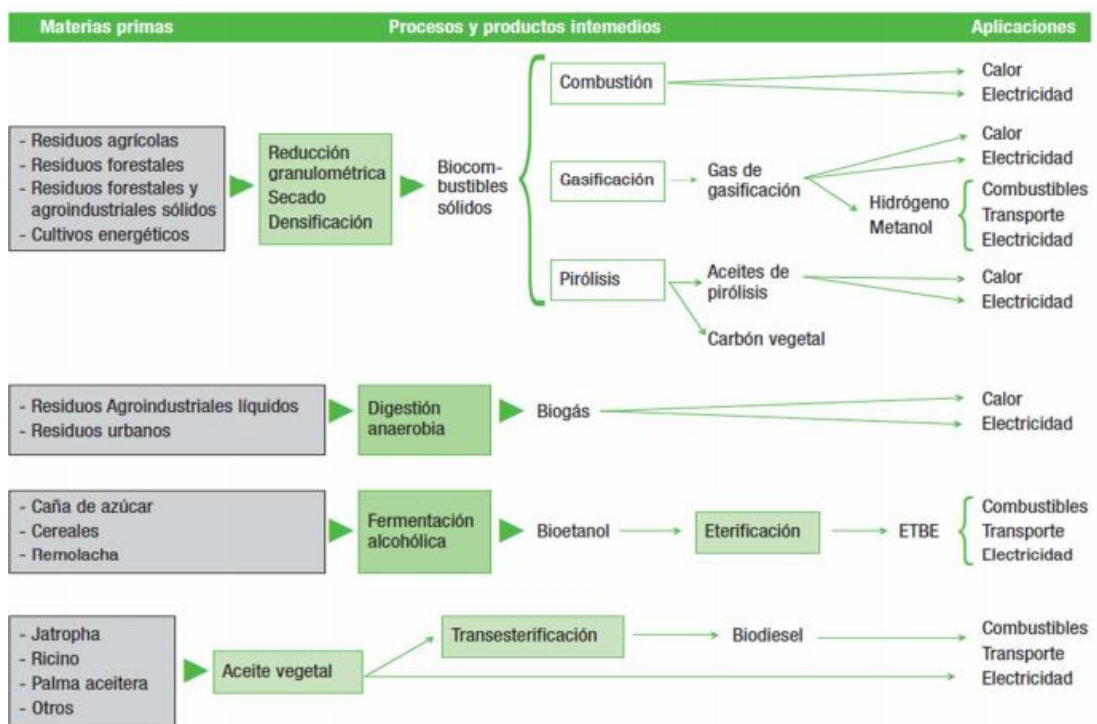


Figura 2. 13 Transformación de la biomasa en energía

Fuente: (Arteaga, Ledon, & Cabrera, 2014)

En el siguiente capítulo se estudia la generación de energía a pequeña escala

Capítulo III:

Criterios de generación eléctrica a pequeña escala

La generación de energía a pequeña escala se encuadra en el concepto de Generación Distribuida (DG), que consiste en la producción de energía en el sitio, mayormente se enfoca en generación eléctrica a través de fuentes renovables sean estas convencionales (eólica, solar, micro-hidroeléctrica, etc) y no convencionales a través de biomasa, biocombustibles etc., Desde dicho enfoque puede una casa, granja y fábricas medianas, producir energía para consumo interno y el excedente eléctrico puede ser llevado a la subestación eléctrica cercana.

Otros autores como Giral, Celedón & Galvis (2017) señalan que Recursos Energéticos Distribuidos, (Distributed Energy Resources DER, por sus siglas en inglés), definen los niveles jerárquicos involucrados en la gestión del sistema de energía eléctrica (Modelo común de información; Common Information Model CIM).

Dicho CIM simplifica lo recomendado por la Comisión Electrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission, IEC) sobre el intercambio de información mediante la definición de un lenguaje común en la interfaz entre las aplicaciones y los sistemas participantes. El CIM define las características eléctricas de los componentes individuales de la red, así como su relación recíproca.

El CIM incluye tres estándares principales:

- IEC 61970 - Interfaz de programa de aplicación EMS
- IEC 61968 - Interfaces de sistema para distribución
- IEC 62325 - Energy Market Communications

3.1 Generación Distribuida (DG)

La Generación Distribuida es la generación o el almacenamiento de energía eléctrica a pequeña escala, lo más cercana al centro de carga, con la opción

de interactuar (comprar o vender) con la red eléctrica y, en algunos casos, considerando la máxima eficiencia energética. (Lorente, 2011).



Figura 3. 1 Esquema de generación distribuida

Fuente; (Bosch, 2017)

En la figura 3.1 se representan pequeñas unidades de generación eléctrica como paneles solares, aerogeneradores, aprovechamientos de biogás o biomasa. Por consiguiente, la energía producida es aprovechada en parte por el propio consumidor, y los excedentes son inyectados a la red. El consumidor deja de ser un actor pasivo del sector eléctrico y se transforma en “prosumidor”, es decir un consumidor que además aporta energía y servicios a la red en determinados momentos (Bosch, 2017).

La implementación de sistemas DG podría reducir su huella de carbono por emisiones de CO₂ por aquello en algunos países se implementa soluciones concretas y prácticas para lograr sus objetivos de sustentabilidad a través de incentivos a las empresas.

En general y teniendo en cuenta aspectos regulatorios, se entiende por Generación Distribuida:

- Una “pequeña” potencia ubicada en puntos cercanos al consumo.
- Conectada a la red de distribución.

- Es frecuente que una parte de dicha generación sea consumida (“técnicamente”) por la misma instalación y el resto se exporte a una red de distribución.
- No existe una planificación centralizada de dicha generación y no suele despacharse centralizadamente.
- La potencia de los grupos suele ser menor de 50 MW. (Lorente, 2011).

3.1.1 Impacto de Generación Distribuida en operación de red de distribución

La operación y explotación de red precisa el aprovechamiento óptimo de la red buscando la mejor solución de responsabilidad teniendo en cuenta:

- Las sobrecargas.
- Los niveles de tensión.
- Minimización de pérdidas.
- Continuidad en el suministro.
- Tiempos de reposición.
- Protecciones.

Las redes de distribución han sido diseñadas para que la potencia fluya en una sola dirección, pero la introducción de la Generación Distribuida hace que esta consideración ya no sea válida, lo que conlleva nuevos retos para la operación y el diseño de la red.

3.1.2 Micro redes

El despliegue de la DG de pequeño tamaño podría facilitar el desarrollo de micro redes, por cuanto es un sistema de generación eléctrica bidireccional que permite la distribución de electricidad desde los proveedores hasta los consumidores, utilizando tecnología avanzada para favorecer la integración de las fuentes de generación de origen

renovable, con el objetivo de ahorrar energía, reducir costos e incrementar la fiabilidad

El Departamento de Energía de los Estados Unidos define una microrred como un grupo de cargas interconectadas y recursos energéticos distribuidos (DER) dentro de límites eléctricos claramente definidos que actúan como una única entidad controlable con respecto a la red.

La microrred posee sistemas de distribución de baja tensión (BT) con recursos de energía distribuidos (DER) (microturbinas, pilas de combustible, fotovoltaica, etc.), dispositivos de almacenamiento (baterías, volantes de inercia o volantes motor) de energía sistema de almacenamiento y cargas flexibles. Dichos sistemas pueden operar conectados o desconectados de la red principal. Véase la figura 3.2

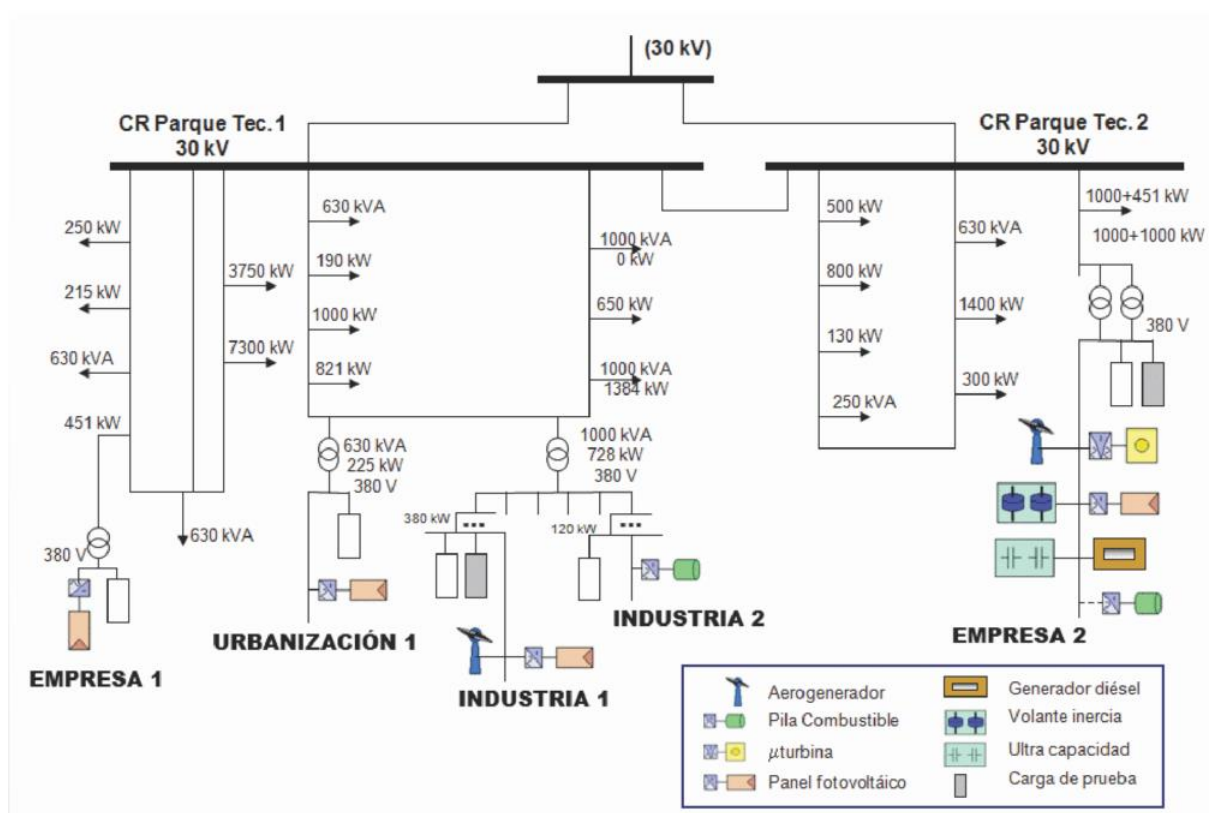


Figura 3. 2 Esquema de una micro red

Fuente: (Green Energy , 2017)

La instalación de microrredes en entornos urbanos consolidados puede ser complicada. Sin embargo, estos sistemas presentan perspectivas interesantes para nuevos desarrollos urbanísticos. Véase el circuito de una micro red.

Los elementos de los que consta una micro red inteligente son: sistemas de generación distribuida, sistemas de almacenamiento de energía, técnicas para la gestión de cargas, sistemas de monitorización y control del flujo de potencia, técnicas y procedimientos de mantenimiento preventivo. Una microrred puede conectarse y desconectarse de la red para permitir que funcione tanto en modo conectado como en modo isla.

En este caso, dado que hay que preparar todas las infraestructuras desde cero, se puede realizar una planificación energética conjunta para el barrio. Así, por ejemplo, se puede diseñar una central de producción de calor y/o frío, y realizar el tendido de tuberías de agua, en lugar de instalar tuberías de gas y producir el calor en cada vivienda (Fedit, 2011).

Las fuentes de energía renovable se integrarán de forma óptima en la red, acercando la generación al consumo a través de la instalación de paneles fotovoltaicos en edificios públicos, el uso de micro generación eléctrica en algunos hoteles o instalación de sistemas micro eólicos en la zona. Existirán sistemas de almacenamiento energético en baterías, de manera que parte de la energía podrá ser consumida después en la climatización de edificios, el alumbrado público y el transporte eléctrico. Se potenciará también el uso de autos eléctricos, con la instalación de puntos de recarga.

3.1.3 Tipos de micro red

Se puede detallar los siguientes tipos de micro redes

Micro redes Institucionales

El enfoque de las microrredes del campus es la agregación de la generación existente en el sitio con cargas múltiples que se ubican en una geografía ajustada en la que el propietario las administra fácilmente.

Micro redes de la comunidad

Las microrredes comunitarias pueden atender a miles de clientes y respaldar la penetración de la energía local (electricidad, calefacción y refrigeración)

Micro redes remotas "fuera de la red"

Estas micro redes nunca se conectan a la Macrogrid y en su lugar operan en modo isla en todo momento debido a problemas económicos o posición geográfica. Normalmente, una micro red "sin conexión a la red" se construye en áreas que están muy lejos de cualquier infraestructura de transmisión y distribución y, por lo tanto, no tienen conexión con la red eléctrica.



Figura 3. 3 Micro red

Fuente: (Green Energy , 2017)

Micro redes Comerciales e Industriales

Estos tipos de micro redes están madurando rápidamente en América del Norte y Asia Pacífico; sin embargo, la falta de estándares bien conocidos para este tipo de microrredes los limita globalmente. Existen muchos procesos de

fabricación en los que una interrupción de la fuente de alimentación puede provocar grandes pérdidas de ingresos y un largo tiempo de puesta en marcha.

3.1.4 Componentes básicos en micro redes

Se indican los siguientes componentes de una micro red plataforma de la generación distribuida y soporte integrado para una red eléctrica inteligente.

Generación

- Renovables o no-renovables en función del recurso energético
- Paneles solares.
- Mini generadores o generadores eólicos.
- Micro turbinas.
- Pilas de combustible.
- Controlables o Intermitentes (modo de operación)
- Recurso Energético Primario
- Interfaz basado en electrónica de potencia

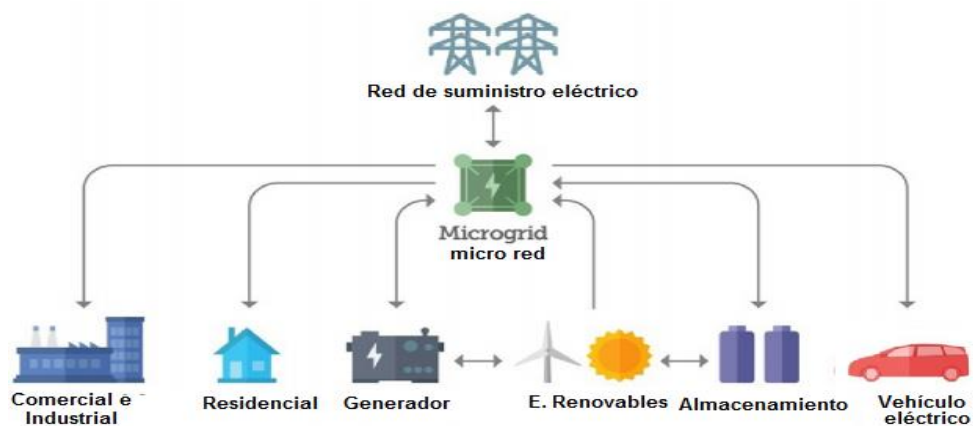


Figura 3. 4 Componentes de una micro red

Fuente: (Green Energy , 2017)

Almacenamiento

- Eléctrico – Térmico
- Baterías.

- Almacenamiento térmico.
- Volantes de inercia.

Sistemas de control

- Sistema de Control Central de la microrred
- Controladores locales (generadores controlados, cargas)
- Comunicaciones (Operador de Distribución, locales)
- Distribución de la lógica de control (control primario, regulación secundaria, servicios auxiliares)

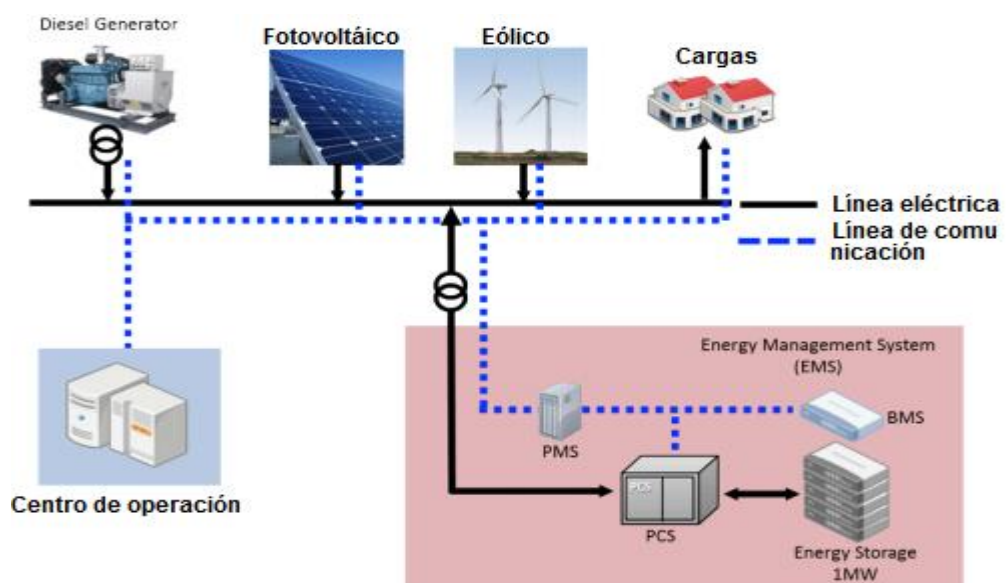


Figura 3. 5 Esquema del sistema de control de una micro red

Fuente: (Green Energy , 2017)

Cargas

- Eléctricas – Térmicas
- Calidad de suministro (cargas críticas, procesos industriales)
- Controlables o no

Interruptores

- Punto de Interconexión con la red eléctrica

Protecciones

- Transiciones Conectado-Aislado-Conectado (detección de condición)
- Potencias de cortocircuito para detección de faltas

En la figura 3.6 se ve un esquema general acerca de la generación distribuida como componente esencial en la llamada red eléctrica inteligente o smart grid.

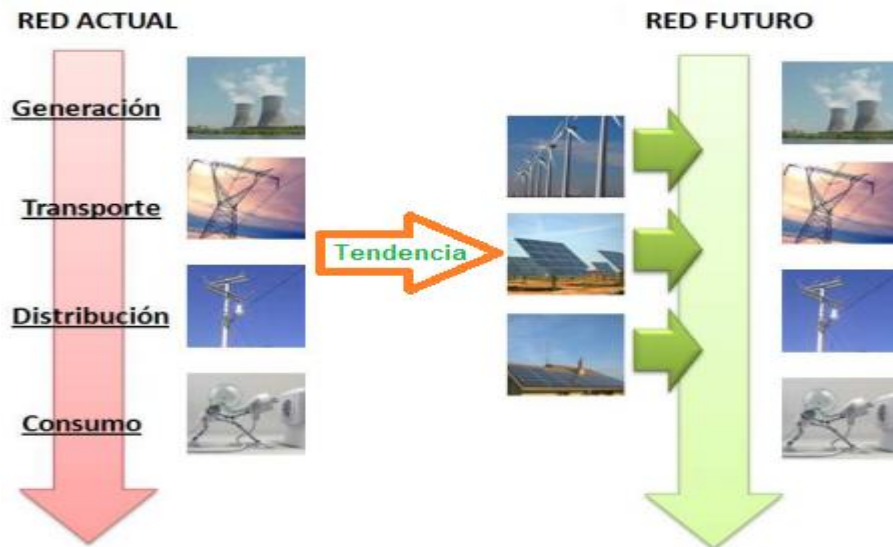


Figura 3. 6 Tendencia de red eléctrica convencional hacia red inteligente

(Fedit, 2011)

El nuevo modelo energético pretende transformar el sistema actual en un sistema distribuido, en el cuál cualquier agente que esté conectado a la red tiene la posibilidad de aportar energía, posibilitando la creación de micro generadores, de forma que no existe una dependencia tan directa como con la generación energética actual.

Gracias a este tipo de red es posible disminuir drásticamente las pérdidas por el transporte energético, facilitar la conexión a la red de todo tipo de energías renovables (facilitando la integración de porcentajes crecientes de energías no gestionables como la eólica o la solar), soportar las capacidades de almacenamiento energético, soportar la conexión masiva de vehículos eléctricos, etc.

Para poder llevar a cabo todas las acciones mencionadas, la red del futuro deberá:

- Permitir la autogestión de incidencias, tratando los errores producidos en la red y asegurando el flujo eléctrico en todos los puntos.
- Estar dotada de resistencia frente a ataques y desestabilizaciones.
- Potenciar la participación activa de los consumidores, incentivando la generación local de energía y la entrega del exceso energético a la red en horas punta.
- Tener capacidad de suministro de energía de calidad adecuada a la era digital, gracias a un mayor número de puntos de generación que permitirá la entrega de diferentes calidades energéticas para cada tipo de aplicación.

3.1.5 Desafío de la micro red

Los alcances de los sistemas de micro generación y almacenamiento de energía incluyen procesos de optimización: minimización de pérdidas totales del sistema, minimización del índice de duración promedio de la interrupción, System Average Interruption Duration Index (SAIDI, por sus siglas en inglés), minimización del costo maximización de la capacidad de DG y maximización de relación beneficio-costos.

Las microrredes, y la integración de las unidades DER en general, introducen una serie de desafíos operacionales que deben abordarse en el diseño de sistemas de control y protección para garantizar que los niveles actuales de confiabilidad no se vean significativamente afectados. Algunos de estos desafíos surgen de suposiciones inválidas que típicamente se aplican a los sistemas de distribución convencionales, mientras que otros son el resultado de problemas de estabilidad que antes solo se observaban a nivel del sistema de transmisión.

Los desafíos más relevantes en la protección y control de microrredes incluyen:

- Flujos de potencia bidireccionales: la presencia de unidades de generación distribuida (DG) en la red a bajos niveles de voltaje puede causar flujos inversos que pueden ocasionar complicaciones en la coordinación de protección, patrones de flujo de energía no deseados, distribución de corriente de falla y control de voltaje.
- Problemas de estabilidad: la interacción del sistema de control de las unidades DG puede crear oscilaciones locales, lo que requiere un análisis minucioso de la estabilidad de las perturbaciones pequeñas. Además, las actividades de transición entre los modos de operación conectados a la red y en isla (autónomos) en una microrred pueden crear estabilidad transitoria.
- Modelado: muchas características del esquema tradicional, como la prevalencia de condiciones de equilibrio trifásico, principalmente las líneas de transmisión inductiva y las cargas de potencia constante, no son necesariamente válidas para las microrredes, por lo que los modelos deben revisarse.
- Baja inercia: la micro red muestra una característica de baja inercia que es diferente de los sistemas de potencia masiva donde un alto número de generadores síncronos asegura una inercia relativamente grande. Especialmente si hay una porción significativa de unidades DG con interfaz electrónica de potencia, este fenómeno es más claro. La baja inercia en el sistema puede provocar graves desviaciones de frecuencia en el funcionamiento autónomo si no se implementa un mecanismo de control adecuado

3.1.6 Sistema de medición de energía

Se emplea el medidor inteligente, permite el flujo de manera bidireccional, los cuales consisten de dos funciones: cuando la micro red se encuentra en horas de máxima producción inyecta energía a la red de distribución, de esa manera se calcula la cantidad de energía y el costo de producción. La segunda opción, la micro red consume energía de la red de distribución y se realiza

una comparación de la energía consumida y generada (Chica & Guamán, 2017). La figura 3.7 muestra un medidor bidireccional y su operación entre el Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) y la micro red.

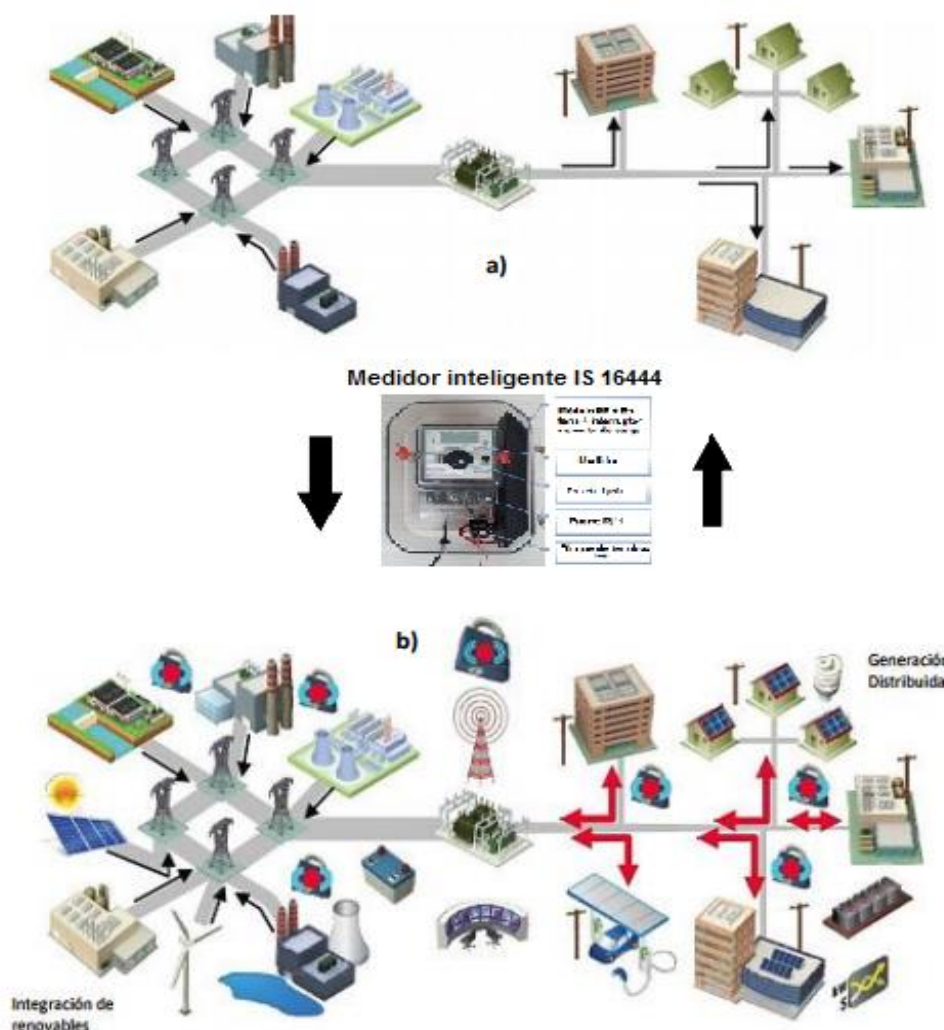


Figura 3. 7 Medidor inteligente, a) El SEP entrega energía a micro red, b) Micro red entrega energía al SEP

Fuente: (Chica & Guamán, 2017)

3.2 Potencial energético estimado de energías renovables en Ecuador

Según el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable de Ecuador MEER organismo responsable del sector eléctrico en el país, indica que la demanda de energía eléctrica en Ecuador creció en la última década una tasa anual de 5%, de los cuales, el 59% se satisface con hidroelectricidad, 38% con

centrales térmicas, mientras que otras fuentes de energía renovable como geotérmica, solar, eólica, etc. constituyen menos del 1%.

El sector eléctrico ha sufrido significativos cambios en los últimos años. No obstante, la incorporación de importantes cargas como: repotenciación de la refinería de Esmeraldas, minería, metro, tranvía, aeropuertos, etc. requiere una transformación urgente y responsable de la matriz energética, la cual debe contemplar: la diversificación en base a fuentes renovables, operar de forma descentralizada y establecer un compromiso entre el estrado, los trabajadores y la comunidad (Peláez & Espinoza, 2015).

El Ministerio de Electricidad y Energías Renovables para el 2020 tiene como objetivo que el 86% de la electricidad provenga de generación hidroeléctrica, y un 2% por tecnologías renovables no convencionales (1% solar y eólica, 1% biomasa). El resto se espera que provenga de energía termoeléctrica e importaciones (9% y 3%, respectivamente)

La nueva matriz energética contempla incentivos y regulaciones como exoneración del pago de impuestos para varias tecnologías como las hidroeléctricas a pequeña escala. Sin embargo, estas medidas no son suficientes, se debe impulsar el ahorro y el uso eficiente de la energía eléctrica.

El cambio de la matriz energética significa un crecimiento económico sustentable para el país y muchos beneficios como: mayor seguridad energética, posibilidad de exportar electricidad a países vecinos y la disminución de pérdidas en distribución, que significa a las empresas un ahorro de millones de dólares (Chica & Guamán, 2017).

La expectativa de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables y de hidroeléctricas menores de 50MW en el país, antes y después de la transformación de la matriz energética con proyección hasta el 2021, se lo muestra en la tabla 3.1

Tabla 3. 1 Proyección de energía por fuentes renovables

Energías Renovables	Año		
	2000	2013	2021
Hidroeléctrica (<50(MW))	0,26%	2,00%	4,29%
Fotovoltaica (MW)	0,00%	0,07%	1,87%
Eólica (MW)	0,00%	0,34%	0,18%
Biomasa (MW)	0,00%	1,63%	0,86%
Total Renovable	0,26%	4,04%	7,19%

Fuente: El autor

En la tabla 3.1 se muestra la proyección (hasta 2021) de energía por fuentes renovables, basados en estudios previos realizados por el Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL).

La fuente de energía con mayor proyección en el futuro, es por medio de hidroeléctricas a pequeña escala, seguida por la fotovoltaica. Véase la figura 3.8.

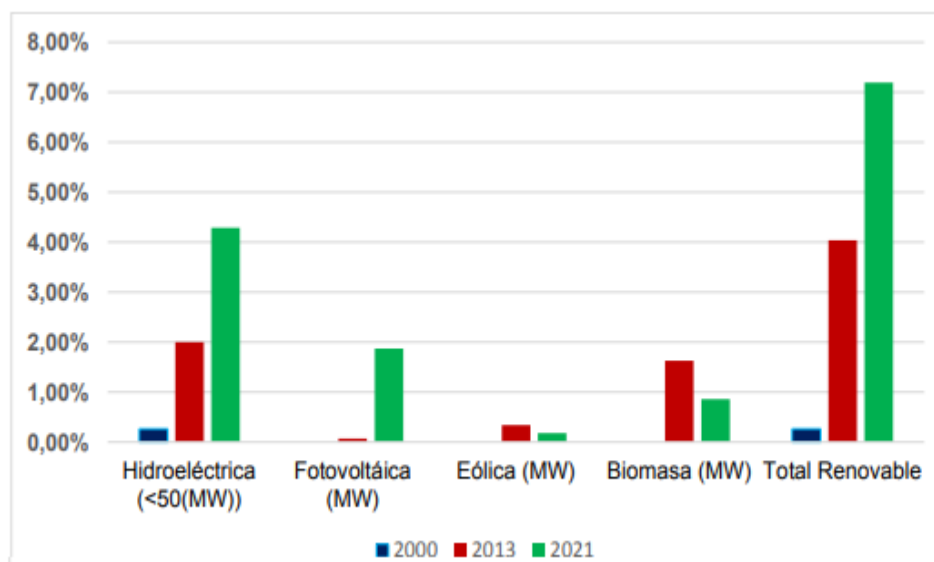


Figura 3. 8 Comparación de fuentes de generación de electricidad

Fuente: (Peláez & L. Espinoza, 2015)

El Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables INER señala que el Ecuador posee un enorme potencial de energía a partir de la Biomasa, tanto por la magnitud de su actividad agrícola cuanto por las posibilidades de aprovechamiento de los residuos urbanos. realiza

investigaciones enfocados en dos líneas de acción: Eficiencia Energética y Energía Renovable (INER, 2014). En cuanto a proyectos de investigación en Energías Renovables y en especial con uso de biomasa, el INER desarrolla desde el 2014;

- Laboratorio para termo valorización de biomasa y Residuos de Sólidos Urbanos RSU.

- › Análisis de muestras solicitadas por entidades y para los estudios de investigación del INER.

- Alternativas para aprovechamiento energético de biomasa residual del proyecto piñón

- › Planta piloto para aprovechamiento del residuo del piñón.

- › Estudio de optimización de la cadena productiva del piñón.

- › Modelo de utilidad para obtención de biocombustibles

- Co gasificación de residuos sólidos para producción de combustibles

- › Construcción de planta prototipo para obtener biocombustibles para transporte, a partir del aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos.

- Producción de hidrógeno a partir de biomasa residual de la producción de banano

- › Diseño de tecnología para obtención de hidrógeno a partir de los desechos del banano.

- › Procedimiento para desarrollar catalizadores para optimizar la producción de hidrógeno.

- Captura de carbono de emisiones de plantas termoeléctricas para producción de biocombustibles a partir de microalgas.

- › Planta piloto para captura de carbono y producción de biocombustibles a partir de microalgas.

- › Modelo de utilidad en extracción de aceites de microalgas

En la figura 3.9 se muestra un cuadro nacional de proyectos ejecutados junto con capacidad de energía.

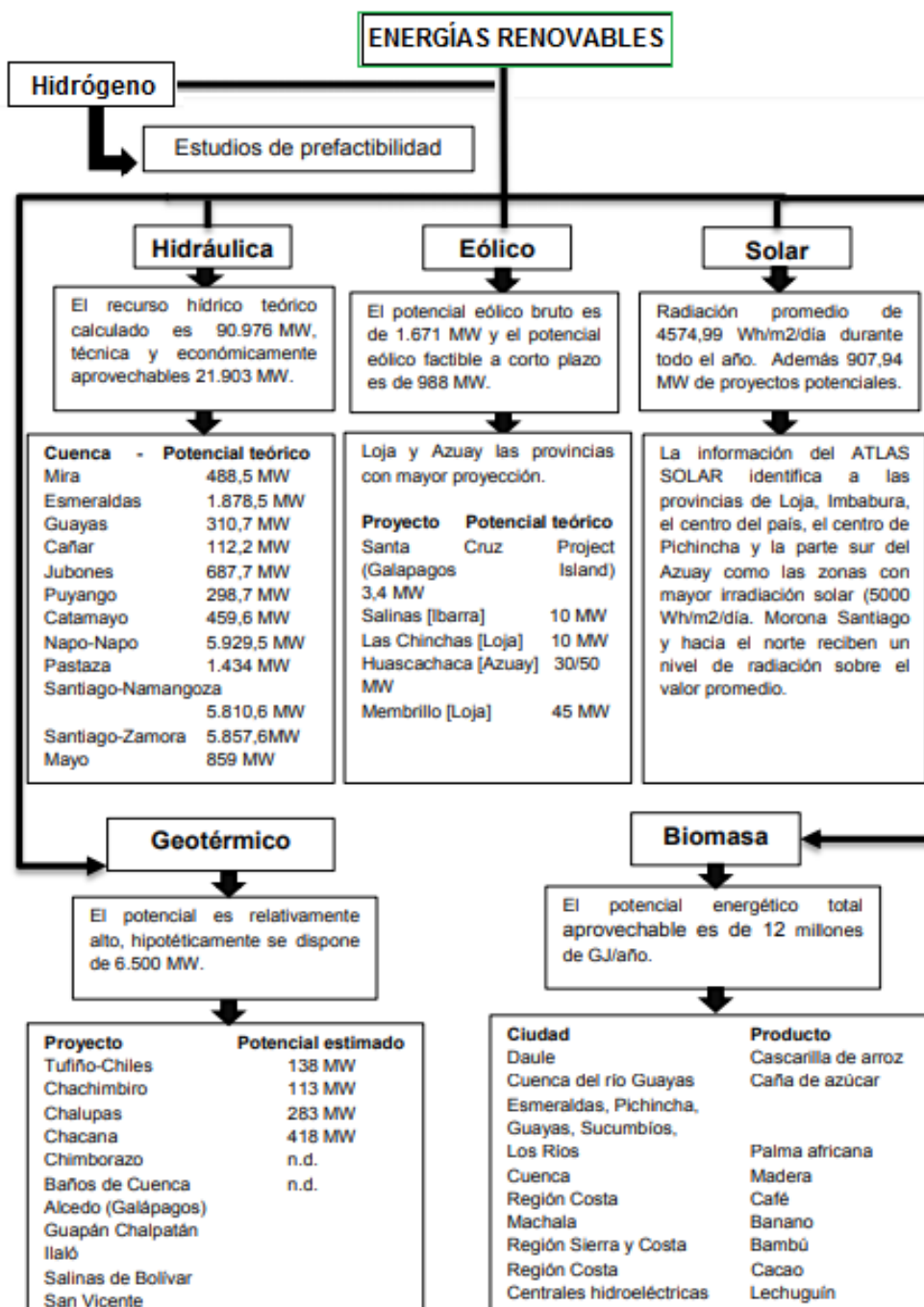


Figura 3. 9 Proyectos de energía renovables y potencia instalada

Fuente: el autor, a partir de MEER

3.3 Sistema de gasificación alimentado con biomasa a pequeña escala

Se indica una breve propuesta de un sistema de gasificación a pequeña escala alimentado con cascarilla de arroz o bien la mazorca sin grano (tusa) de maíz clasificados como biomasa natural. Esta propuesta de sistema de gasificación por biomasa, la cual es un equipo compacto fabricado por All Power Labs pionero en investigación y desarrollo de sistemas a pequeña escala de generación de energía utilizando biomasa.

Véase en la figura 3.10 el equipo Gasificador compacto PP (Power Pallet) 20 kW que produce All Power Labs.

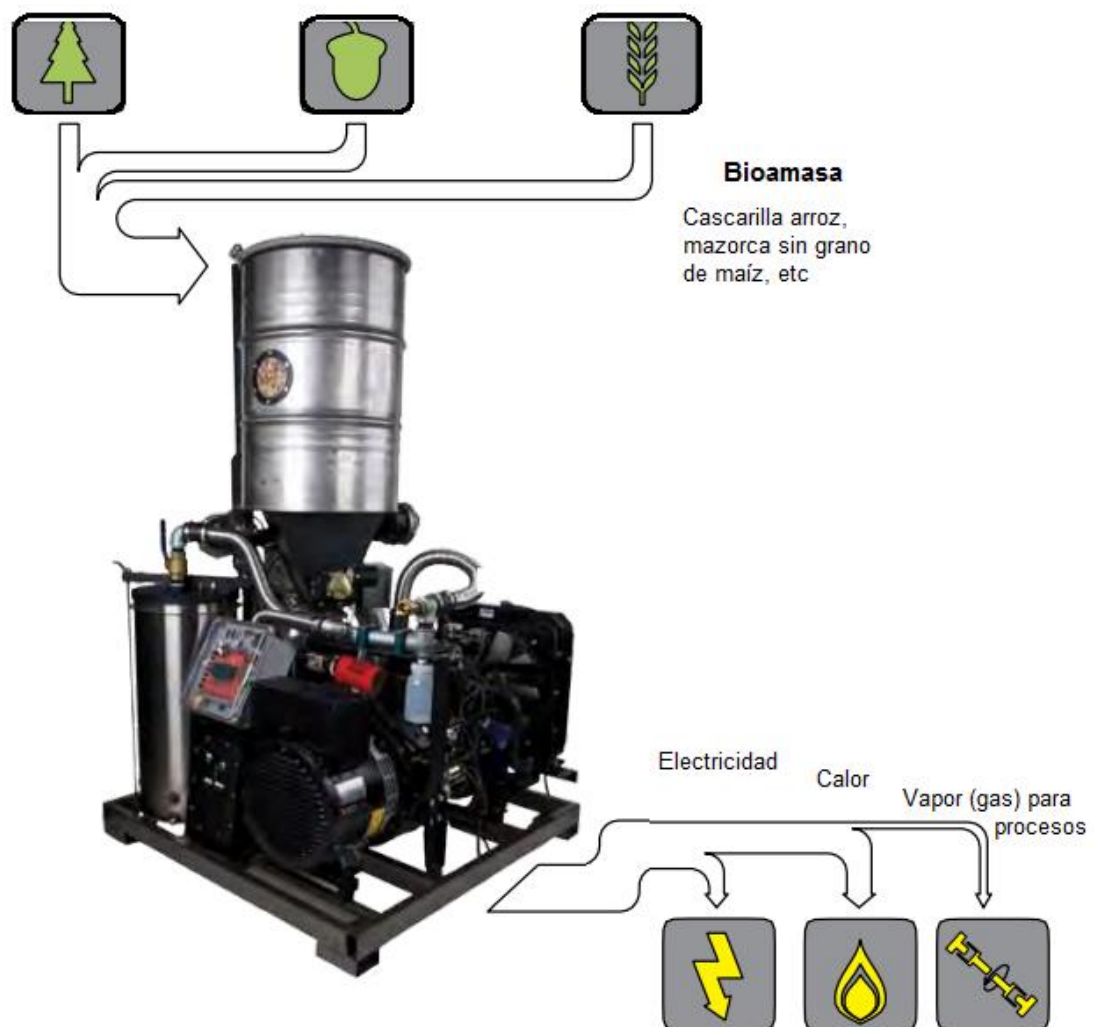


Figura 3. 10 Propuesta de sistema de gasificación

Fuente: (All Power Labs, 2018)

3.4 Propuesta de sistema gasificador para obtención de electricidad por biomasa para la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo FETD

Se detalla a continuación un sistema didáctico de gasificación downdraft para la obtención de energía eléctrica a través de biomasa (tusa de maíz). El gasificador alimentado con la tusa de maíz, reduce el volumen de dicho residuo convirtiéndolo en gas o combustibles de síntesis (gas pobre llamado syngas) a través de la combustión. Se selecciona el sistema gasificador que fabrica la empresa All Lab Power líder en sistemas de gasificación compactos.

3.4.1 Gasificador didáctico para la FETD

Se indica que una vez seleccionado el equipo se debe realizar el montaje del sistema didáctico de gasificación. El sistema propuesto podría potenciar el proceso de enseñanza en generación de electricidad por fuentes renovables no convencionales, disciplina fundamental en las carreras de Ingeniería en Electricidad, Agropecuaria, Agroindustria de la FETD.

3.4.2 Gasificador GEK (Gasifier Experimenter's Kit).

El sistema GEK está compuesto por subsistemas o etapas; Totti, tolva, quemador, filtro de gas, etc.

La etapa denominada TOTTI, está compuesta por la tolva donde debe ingresar la biomasa (preferiblemente, tusa de maíz), el cubo de secado de la biomasa (posee un tornillo sin fin el cual lleva la biomasa hacia el reactor que utiliza una bobina de pirolisis el cual precalienta el aire y enfría el gas síntesis (syngas) el gas de salida en caliente es enfriado por el aire entrante (inyectado).

Posteriormente llega a un ciclón en el cual se asientan en la base del ciclón las partículas grandes y alquitrán, el gas más 'livianos' (partículas finas) se dirige hacia filtros donde es enfriado nuevamente y podrá ser utilizado como combustible en un motor de combustión interna y devolverlo al gasificador para que realice un trabajo útil.

En la figura 3.11 muestra partes y detalle del Gasificador GEK.

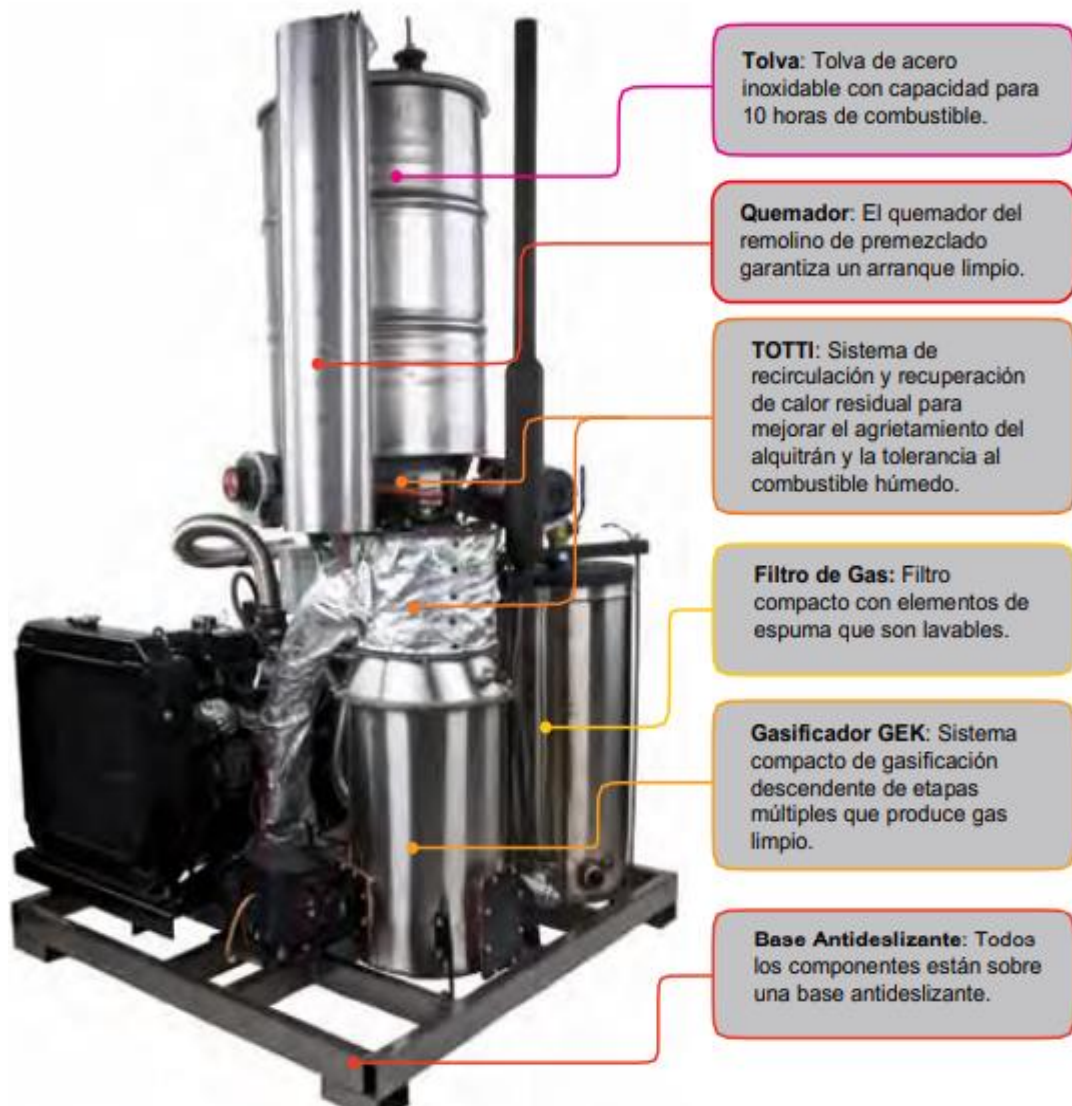


Figura 3. 11 Subsistema del Gasificador GEK de 10 kW

Fuente: (All Power Labs, 2018)

El sistema ajusta automáticamente la mezcla de gas de síntesis/aire a través de un sensor de oxígeno Bosch, el cual puede mover la rejilla cuando sea necesario y elimina la ceniza a través de un sinfín mecánico. La Unidad de Control de Proceso (PCU) monitorea y responde a todas las condiciones internas del reactor, filtro y motor, mostrando los resultados en una pantalla LCD.

El movimiento horizontal del accionamiento lineal que opera la válvula de compuerta se convierte en una fuerza de sellado vertical mediante un innovador sistema de resorte de lámina que garantiza un cierre hermético y un funcionamiento fiable.

A continuación, en la tabla 3.2 se detalla las especificaciones de dos tipos u opciones de motor de combustión interna para ser alimentado con el gas de síntesis o gas pobre (obtenido con biomasa) el cual estará acoplado a un generador para generar electricidad.

Tabla 3. 2 Especificaciones de dos tipos de motores para el gasificador GEK

Especificaciones del Power Pallet	10kW	20kW
Potencia de Salida	3-10kW	5-20kW
Consumo de Biomasa	12kg / 26 lbs por hora a 10Kw	22kg / 50 lbs por hora a 20Kw
Tolerancia a la humedad del combustible	Más del 30%	Más del 30%
Dimensiones	1.2m x 1.2m x 1.8m 48" x 48" x 72"	1.2m x 1.3m x 1.8m 51" x 52" x 72"
Peso	499 kg / 1100 lbs	658 kg / 1450 lbs

Fuente (All Power Labs, 2018)

3.4.2 Montaje del sistema de gasificación a pequeña escala para la FETD

A continuación, se puede observar en la figura 3.12 la vista del tanque que forma el equipo reactor.



Figura 3. 12 Vista del tanque (reactor)

Fuente. El autor

El reactor una vez ensamblado el reactor donde se deben de producir las reacciones de pirolisis, oxidación y reducción por el calentamiento del aire y la biomasa. Otra etapa del montaje es la etapa de un ciclón separador de partículas y las cenizas se recogen en la parte inferior del ciclón, véase la figura 3.13.



Figura 3. 13 Revisión del filtro y ciclón

Fuente. El autor

El reactor emplea la técnica downdraft y esto involucra que la reacción producida es una combustión controlada de la biomasa. Igualmente se producirán reacciones endotérmicas (necesita calor). Las reacciones de la gasificación se producen en etapas de pirólisis y de reducción. En cambio, la oxidación (producida por combustión) se controla mediante la aportación exacta de aire u oxígeno del gasificador.

A continuación, en la figura 3.14 se puede ver el reactor preparado para los procesos de pirólisis. Luego, en la figura 3.15 se observa al reactor preparado para instalarse con otras etapas.



Figura 3. 14 Reactor del gasificador

Fuente. El autor



Figura 3. 15 Reactor preparado

Fuente. El autor

En las figuras 3.16, 3.17 y 3.18 se muestra el reactor preparado para conexión con otros componentes del gasificador.



Figura 3. 16 Reactor preparado para conexión con otros componentes.

Fuente. El autor



Figura 3. 17 Instalación de reactor

Fuente. El autor



Figura 3. 18 Montaje de reactor con tolva

Fuente. El autor

La tolva tiene en su parte inferior un tornillo sin fin, con el cual lleva o traslada la biomasa (tusa de maíz) hacia el reactor del gasificador, el reactor internamiento tiene quemadores y tendrá inyección de aire para facilitar la combustión, así circulará el aire dirigiendo gas con partículas (producto de pirolisis, oxidación etc.) dirigiendo luego hacia el ciclón donde quedará en el fondo del mismo partículas 'grandes' o cenizas y también un líquido llamado alquitrán.

El gas con partículas finas se dirige hacia un filtro que dejara pasar solo el gas denominado syngas, el cual podría ser utilizado por un motor de combustión interna adaptado para funcionar con syngas (gas de síntesis) como combustible. El motor de combustión interna con su generador acoplado puede producir electricidad.

En la figura 3.19 se muestra el montaje final del gasificador, se debe indicar que el montaje tuvo la colaboración del tecnólogo Jhonny Ruiz supervisado por el ing. José Martillo.



Figura 3. 19 Terminación del montaje

Fuente. El autor

En el siguiente capítulo se hace una revisión a la situación energética de fuentes renovables y en especial a la biomasa que es fuente renovable no convencional.

Capítulo IV:

Análisis de situación energética de fuentes renovables en Ecuador

La tabla 4.1 sintetiza el informe del BID “Evaluación rápida y análisis de brechas: Ecuador”

Tabla 4. 1 Estado y aplicación de energía renovable en Ecuador

TIPO DE ENERGÍA RENOVABLE		APLICACIÓN		GRADO DE DESARROLLO
Convencional	Hidroeléctrica	Generación eléctrica	<i>On-grid</i>	Generación 90% hidroeléctrica a partir del 2016
	Biocombustibles	Consumo final	Transporte	Incipiente, etanol en Guayaquil, biodiésel en proceso
	Leña	Consumo final	Uso doméstico cocción fogón abierto	Utilizada aún por 260.000 hogares (sustitución)
No convencional	Geotérmica	Generación eléctrica	<i>On-grid</i>	Prospección de recurso detenida por 20 años, se retomó recientemente
	Hidro menor a 50 MW	Generación eléctrica	<i>On-grid</i>	Existen algunas plantas hidroeléctricas conectadas a la red que venden excedentes (Ej. Sibimbe) y otras en construcción. Está la regulación de precios, hay que impulsar el desarrollo de proyectos
	Eólica	Generación eléctrica	<i>On-grid</i>	2.4 MW instalados y tres plantas incluidas en el plan
			<i>Off-grid</i>	Nada
	Paneles fotovoltaicos	Generación eléctrica	<i>On-grid</i> (generación distribuida)	Galápagos
			<i>Off-grid</i> (uso doméstico y productivo rural)	Importante en energización rural dispersa
	Solar termoeléctrica	Generación eléctrica <i>on-grid</i>	<i>On-grid</i>	Nada
	Biomasa	Biogas	Generación eléctrica <i>on-grid</i> y <i>off-grid</i>	Nada
			Calor para usos finales	Nada
		Calor para usos finales	Se conocen algunos casos (Ej. Contrachapados ENDESA), falta información de otros posibles	
	Residuos agrícolas y forestales	Cogeneración <i>on-grid</i> y <i>off-grid</i>	Existen algunos casos (Ej. Ecoelectric, San Carlos, otros), falta información de otros posibles	
		Leña "No convencional"	Uso doméstico cocción cocinas	Nada

Fuente: CONELEC e Informe (BID, 2013)

4.1 Marco Nacional para el Monitoreo de un Programa SE4ALL

La institución para el establecimiento y monitoreo de un programa a nivel nacional de Energía sostenible para todos (Sustainable Energy for All o SEforALL), debe ser el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable de Ecuador, ya que la entidad es responsable tanto de revisar antes de su aprobación final los proyectos de energización rural y urbano-marginal presentados por las empresas distribuidoras, como del desarrollo de las energías renovables y la eficiencia energética en el país, a través de su Subsecretaría de Energía Renovable y Eficiencia Energética SEREE.

Si se le concede al MEER este lugar, podrá coordinar acciones con el ARCONEL, así como con otras entidades del sector eléctrico y organismos vinculados con la producción, tanto dentro del Estado como en el sector privado. De igual modo, es necesario incorporar este último al proceso, ya que se encuentra más en contacto con los consumidores, quienes son los que deben concretar las acciones e inversiones para mejorarla eficiencia energética y utilizar energías renovables para usos finales.

4.2 Energía renovable On-Grid y Of Grid

La generación privada está normativizada por las Regulaciones del CONELEC 002, 003 y 004 del año 2011.

A grandes rasgos, la Regulación 002/2011 se refiere a la excepcionalidad para la participación privada en el sector eléctrico, de acuerdo a la reforma a la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, introducida en el Código Orgánico de la Producción.

4.2.1 Energía renovable: generación eléctrica On-Grid y Of-Grid

Este tipo de generación ya está en marcha, se ha demostrado que existen inversionistas interesados. Lo que resultaría muy importante, es estructurar el financiamiento para estos proyectos con los desarrolladores de los mismos. (BID, 2013).

Un aspecto relevante es que el límite del 6% de la potencia instalada es una meta dinámica, que permite una ampliación de la capacidad instalada de generación con Energías Renovables No Convencionales ERNC, a medida que el sistema eléctrico crece. El indicador de verificación en este caso es el cumplimiento de los cronogramas acordados en los contratos de compra-venta de energía.

4.3 Biomasa

Existen algunas plantas que producen energía y vapor en un esquema de cogeneración y venden los excedentes a la red interconectada. Dichas plantas están vinculadas a la industria azucarera, aunque en una de ellas no solamente se utiliza bagazo de caña, sino también otros residuos agrícolas. Las más importantes son Ecoelectric (36,5 MW, utiliza bagazo y otros residuos agrícolas), San Carlos (35 MW) y Ecudos (29,8 MW).

4.4 Biocombustibles

Por otro lado, en el país existen posibilidades para el desarrollo de un mercado de biocombustibles para utilizarse en motores de propulsión para transporte, mezclados con combustibles fósiles derivados del petróleo. El uso de biocombustibles tiene ventajas ambientales apreciables, ya que el impacto sobre el medio ambiente en el ciclo de vida de los biocombustibles es reducido en comparación con los productos petroleros. De igual modo, podrían generarse muchos empleos en la cadena agroindustrial de la caña de azúcar y de la palma aceitera, los cuales podrían alcanzar la cifra estimada de 120.000 (entre empleos directos e indirectos), sobre todo en la fase agrícola.

En el caso del etanol, éste ya se comercializa en la ciudad de Guayaquil como una mezcla E5 (5% bioetanol y 95% gasolinas entre base y alto octano). Así mismo, entre el 2016 y el 2017 dicha mezcla puede alcanzar la meta promedio del 5% (E5, Ecopaís); y para el 2020 puede llegar al 10% (E10) para todo el

país. Para ello se requiere la siembra de una superficie adicional de caña de azúcar de aproximadamente unas 40.000 a 50.000 hectáreas. (BID, 2013).

En el caso del biodiésel, la situación es distinta que la del bioetanol, ya que la agroindustria ecuatoriana de la palma aceitera cuenta con excedentes de aceite crudo de palma que se están exportando (240.000 toneladas). La propia industria prevé que estas cifras crecerán en el futuro; sobre todo en base a un aumento de productividad (y en menor medida en base al aumento del área sembrada), la cual se encuentra muy baja actualmente en comparación con otras áreas productoras del mundo.

Solamente utilizando estos excedentes de aceite crudo de palma para producir biodiésel se podría llegar a comercializar, hacia el final del periodo 2012-2030, una mezcla hasta B15, con una penetración total en el mercado de diésel para transporte.

De igual modo, la producción podría aumentarse en base a otras biomásas y tecnologías. Recientemente se promulgó un decreto ejecutivo que establecía metas de mezclas obligatorias para la industria petrolera, comenzando con un plan de mezclas B3 y hasta B5 (BID, 2013).

Así mismo, se analizó y se está considerando la implementación de un plan de sustitución parcial de diésel por biodiésel en mezclas para todos los tipos de consumo fijos (generación eléctrica, industria) y móviles (motores marinos y terrestres) en las Islas Galápagos; todo esto dentro de la iniciativa “Cero Combustibles Fósiles en Galápagos”

En la tabla 4.2 se aprecia estado de biomasa en Ecuador según (BID, 2013).

Tabla 4. 2 Aplicación y estado de desarrollo de la biomasa en el país

Biomasa	Biogas	Generación eléctrica <i>on-grid</i> y <i>off-grid</i>	Nada
		Calor para usos finales	Nada
	Residuos agrícolas y forestales	Calor para usos finales	Se conocen algunos casos (Ej. Contrachapados ENDESA), falta informa de otros posibles
		Cogeneración <i>on-grid</i> y <i>off-grid</i>	Existen algunos casos (Ej. Ecoelectric, San Carlos, otros), falta información de otros
Leña "no convencional"	Uso doméstico, cocción en cocinas eficientes	Nada	

Fuente: CONELEC.

Regulación CONELEC 004-11 “Tratamiento para la energía producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales”

La Regulación CONELEC 004-11 establece los requisitos y los precios preferentes de la energía para proyectos de energías renovables no convencionales (tabla 3.3). También fija las condiciones para las centrales hidroeléctricas menores a 50 MW, conectadas a la red o en sistemas aislados.

Tabla 4. 3 Precios de la energía regulación CONELEC 004-11

CENTRALES	Territorio Continental	Territorio Insular de Galápagos
ERNC		
EÓLICAS	9.13	10.04
FOTOVOLTAICAS	40.03	44.03
SOLAR TERMOELÉCTRICA	31.02	34.12
CORRIENTES MARINAS	44.77	49.25
BIOMASA Y BIOGÁS < 5 MW	11.05	12.16
BIOMASA y BIOGÁS > 5 MW	9.60	10.56
GEOTÉRMICAS	13.21	14.53
HIDROELÉCTRICAS MENORES A 50 MW		
CENTRALES HIDROELÉCTRICAS HASTA 10 MW	7.17	
CENTRALES HIDROELÉCTRICAS MAYORES A 10 MW HASTA 30 MW	6.88	
CENTRALES HIDROELÉCTRICAS MAYORES A 30 MW HASTA 50 MW	6.21	

Fuente: CONELEC.

Los precios para las ERNC indicados en el cuadro anterior son fijos durante todo el período contractual, sin ningún tipo de reajuste por inflación. Éstos fueron establecidos por el CONELEC con base a parámetros internacionales.

En el futuro se aplicarán metodologías con base a tasas de retorno sobre la inversión, calculadas mediante flujo de caja a futuro. Esto es similar a lo que ya se utiliza para otras fuentes de generación privada (como la establecida en la Regulación 003/11). Los precios para las hidroeléctricas menores a 50 MW se determinaron con un modelo matemático en base al flujo de fondos y al retorno sobre la inversión, para plantas con distintos niveles de inversión y características operativas (factor de planta, por ejemplo).

El Artículo 6.3 de la Regulación 004/11 establece: “El CENACE despachará, de manera obligatoria y preferente, toda la energía eléctrica que las centrales que usan recursos renovables no convencionales entreguen al sistema, hasta el límite del 6%, de la capacidad instalada y operativa de los generadores del Sistema Nacional Interconectado, según lo establecido en la Regulación complementaria del Mandato 15. Para el cálculo del límite se consideran todas las centrales renovables no convencionales que se acojan a esta regulación, a excepción de las hidroeléctricas menores a 50 MW, las biomasas y las geotérmicas, las cuales no tendrán esta limitación”.

Mecanismos de pago para proyectos ERNC De acuerdo con las regulaciones vigentes, el Centro Nacional de Control de Energía, CENACE, es el encargado de establecer los montos de energía a ser facturados mensualmente por los generadores privados sujetos a despacho (mayores a 1 MW) en el marco de la Regulación 004/11, y en base a los precios preferentes establecidos.

Todo el sistema eléctrico en su conjunto asume estos costos de generación privada con ERNC. En consecuencia, dichos costos se prorratan por el CENACE entre todas las distribuidoras. De este modo se indica a cada generador privado los montos a facturar mensualmente a cada una de ellas.

4.5 La respuesta de la iniciativa privada

La Regulación CONELEC 004/11 fue emitida en abril del 2011. Para el 29 de noviembre del 2012 el cupo para ERNC ya se había asignado en su totalidad, como se aprecia en la tabla 4.4, que presenta la información de CONELEC al respecto e indica una reacción muy positiva del sector privado.

Tabla 4. 4 Participación privada en proyectos de generación eléctrica con ERNC

Descripción	Indicador
Potencia total instalada operativa en el Sistema Nacional Interconectado (S.N.I)	4,742.0 MW
Cupo total para ERNC*: 6% de la potencia total instalada en el (S.N.I)	284.5 MW
Cupo total disponible para ERNC* restando los proyectos de biomasa (ingenios azucareros)	284.52 MW
Potencia con ERNC* que se acoge a tarifa preferencial, con título habilitante suscrito	200 MW
“Títulos Habilitantes” por suscribirse autorizados por Directorio del CONELEC	84.52 MW
Certificados de calificación otorgados a 11 compañías	215 MW
Cupo disponible con ERNC*	0 MW

*ERNC: Energía renovable no convencional (no incluye hidroeléctrica).

Fuente: CONELEC.

En síntesis, el sector eléctrico al tener un rol estratégico en la economía del país enfrenta un reto de implementar una adecuada planificación integral que establezca políticas energéticas para mejorar el incentivo y fomento de generación eléctrica a través de la biomasa, catalogada como fuente de energía renovable no convencional.

CONCLUSIONES

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz, etc.,).

La biomasa de diferentes formas también puede usarse para producir energía (calor/electricidad) se suele denominar a esta acción; generación distribuida a pequeña escala cuando es utilizada para la electrificación rural. Cuando la aplicación es a nivel industrial, será generación de electricidad a gran escala (plantas generadoras).

Los factores más incidentes en la eficiencia de la biomasa son el contenido de humedad del combustible, el exceso de aire introducido en la caldera al momento de la combustión y el porcentaje de material parcialmente o no incinerado.

La gasificación es un proceso de degradación total consistente en una serie de procesos térmicos y termoquímicos que convierten todo el carbono (C) en la biomasa en un gas, dejando adicionalmente un residuo inerte.

La gasificación es un proceso de conversión térmica incompleta, donde el combustible sólido es transformado parcialmente a un gas mediante un proceso de oxidación a muy altas temperaturas. Como producto principal se obtiene un gas combustible compuesto por hidrógeno, metano y monóxido de carbono.

La calidad y composición del gas producido (gas de síntesis o gas pobre) en la gasificación termoquímica depende del agente gasificador y del lecho de gasificación utilizado

La implementación de un gasificador a pequeña escala para la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo FETD emplea la técnica downdraft (lecho de corriente descendente) y esto involucra que la reacción producida en el interior de su reactor es producto de una combustión controlada de la biomasa (tusa del maíz seca).

Dentro del análisis energético por fuentes renovables en el país, se indica que la fuente de energía con mayor proyección en el futuro es por medio de hidroeléctricas a pequeña escala, seguida por la fotovoltaica.

Los trabajos que se han llevado a cabo en torno a los recursos de energía distribuidos cubren dos funcionalidades: la primera corresponde a sistemas de micro generación con conexión y control de corriente y corriente directa, la segunda está relacionada con los sistemas para el almacenamiento de energía.

Los recursos de energía distribuidos requieren de una etapa de planeación, donde se identifican las zonas geográficas de mayor impacto social y económico, y se determina el modelo y método de instalación.

RECOMENDACIONES

Para el proceso de gasificación a pequeña escala con el aprovechamiento de residuo de la mazorca de maíz se recomienda que esté analizado por un laboratorio certificado para no dañar el sistema de gasificación, salvo que se adquiera producto peletizado del mismo.

Recomendar el uso de sistemas de gasificación en comunidades localizadas en zonas que no cuenten con el sistema eléctrico del país,

Se recomienda que el gasificador implementado en la FETD sea conectado a un equipo de motor de combustión a gas de síntesis más su respectivo generador eléctrico

El gasificador tipo donwdraft a pequeña escala debe ser operado por personas capacitadas en la operación, como su mantenimiento.

Se recomienda la creación de un laboratorio en la FETD que expanda el uso de recursos de biomasa diferentes a la tusa de maíz para el aprovechamiento del gasificador.

Se recomienda que se masifique dentro las carreras de ingeniería de la FETD que se propongan proyectos utilizando otras fuentes de energía renovables

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- All Power Labs. (2018). *Gasifier Gek*. Obtenido de http://www.allpowerlabs.com/wp-content/uploads/2015/05/HalfSkidOneSheet5_26_15.pdf
- Arcia, M. (2013). *TIPOS DE BIOMASA SEGÚN SU ORIGEN-IDAÉ*. Obtenido de <http://icasasecologicas.com/tipos-de-biomasa/>
- Arenas, D. (2009). *PROPUESTA DE DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE LA PRODUCCIÓN dDE CAFÉ*. Obtenido de REPOSITOTIO DIGITAL DE PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA:
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7371/tesis407.pdf>
- Arteaga, L., Ledon, Y., & Cabrera, J. (2014). *Gasificación de biomasa para la producción sostenible de energía. Revisión de las tecnologías y barreras para su aplicación*. Obtenido de <https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/viewFile/297249/386236>
- BAIRAKTAROVA, D. (s.f). *Termodinámica*. Obtenido de <http://opentext.lib.vt.edu/thermodynamics/chapter-2/>
- BID. (2013). *Evaluación rápida y análisis de brechas: Ecuador*. Obtenido de https://www.seforall.org/sites/default/files/Ecuador_RAGA_ES_Releas ed.pdf
- Bosch, J. (2017). *GENERACIÓN DISTRIBUIDA, HACIA EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL FUTURO- Sustentator*. Obtenido de <http://www.sustentator.com/blog-es/2017/06/generacion-distribuida-hacia-el-sistema-electrico-del-futuro/>
- BUN-CA. (2002). *Maniual sobre energía renovables; Biomasa*. (" d. (FOCER), Ed.) ISBN: 9968-904-02-3, Costa Rica:

[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/5EA2E564AF6F41D405257CC1005B2354/\\$FILE/Manuales_sobre_energ%C3%A0Da_renovableBIOMASA.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/5EA2E564AF6F41D405257CC1005B2354/$FILE/Manuales_sobre_energ%C3%A0Da_renovableBIOMASA.pdf).

Castells, X. (2005). *Tratamiento y valoración energética de residuos*. . Obtenido de Fundación Universitaria Iberoamericana. Pag 117 -122: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7371/tesis407.pdf>

Chica, A., & Guamán, J. (2017). *MODELO DE ESTADO ESTACIONARIO DE LA MICRORRED DEL LABORATORIO DE BALZAY DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28606/1/Trabajo%20de%20Titulaci%C3%B3n.pdf>

Eficiencia Renovable. (2014). *Eficiencia Renovable invertirá en proyectos de biomasa*. Obtenido de <https://www.eficienciarenovable.com/eficiencia-renovable-invertira-en-proyectos-de-biomasa-en-10-hoteles/>

Faaij, A. (2004). *Biomass Combustion*.» *Encyclopedia of Energy*.

Fedit. (2011). *SMART GRIDS Y LA EVOLUCIÓN DE LA RED ELÉCTRICA*. Obtenido de http://www.mincotur.gob.es/industria/observatorios/SectorElectronica/Actividades/2010/Federaci%C3%B3n%20de%20Entidades%20de%20Innovaci%C3%B3n%20y%20Tecnolog%C3%ADa/SMART_GRIDS_Y_EVOLUCION_DE_LA_RED_ELECTRICA.pdf

Green Energy . (2017). *MICROGRIDS – MICRORRED*. Obtenido de <https://www.greenenergy-latinamerica.com/microgrids-microrred/>

INER. (2014). *Líneas de investigaciones prioritarias en energías renovables*. Obtenido de https://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/12/DossierINER_ESP.pdf

Klass, D. (1998). *Biomass for renewable energy and fuels*. Obtenido de Elsevier.

- Loaiza, M. (2015). *MODELO DE GENERACIÓN DE ENERGIA A PARTIR DE BIOMASA FORESTAL*. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/134250/Modelo-de-generacion-de-energia-a-partir-de-biomasa-forestal.pdf;sequence=1>
- Lorente, J. (2011). *Estudio sobre el estado actual de las "smart grids"*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/30044513.pdf>
- McKendry, P. (2002). *Energy production from biomass. Part II: Conversion Technologies. Journal of Bioresource Technology*.
- Mírez, J. (2012). *Matlab/Simulink and Renewable Energy* . Obtenido de <https://jmirez.wordpress.com/2012/07/16/j490-la-pirolisis-como-proceso-termico-de-tratamiento-de-residuos-solidos-urbanos/>
- Omosum, A., Bauen, A., & Brandon, N. (2004). *Modelling system efficiencies and costs of two biomass-fuelled SOFC systems. J. Power Sources* 131, p. 96–106.
- P.Basu. (2010). *Biomass Gasification and Pyrolysis. Practical Design. Academic Press. Elsevier. ISBN: 978-0-12-374988-8*.
- Peláez, M., & L. Espinoza. (2015). *Eficiencia energetica y ahorro de energia em el Ecuador*.
- Pellegrini, L., & Oliveira, J. (2007). *Exergy analy - sis of sugarcane bagasse gasification. Energy* 32 314–327.
- Rentizelas, A., Karellas, s., & Kakaras, E. (2009). *Comparative techno-economic analysis of ORC and gasification for bioenergy applications. En - ergy ConversionandManagement; 50:674–81*.
- Romero, A. (2010). *Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles*. Obtenido de Vol. 104, Nº. 2, pp 331-345: <http://www.rac.es/ficheros/doc/00979.pdf>
- Sadhukhan, J., Zhao, Y., & Shah, N. (2010). *Performance analysis of integrated biomass gasification fuel cell (BGFC) and Biomass*

gasification combined cycle (BGCC) system Chem. Eng. Sci. 65 p.1942–1954.

Sadhukhan, J., Zhao, Y, & Shah, N. . (2010). *Performance analysis of integrated biomass gasification fuel cell (BGFC) and biomass gasification combined cycle (BGCC) systems. Chem. Eng. Sci. 65 1942–1954.*

Soltani, S., Mahmoudi, S., Yari, M., & Rosen, M. (2013). *Thermodynamic analyses of an externally fired gas turbine combined cycle integrated with a biomass gasification plant. Energy Conversion and Management 70. p.107–115.*



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Chong Obando, Héctor Wellington** con C.C: # **120249253-2** autor del trabajo de titulación: **Análisis para la obtención de energía eléctrica utilizando un Gasificador de Biomasa** previo a la obtención del título de **Ingeniero en Eléctrico-Mecánica** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 30 de Agosto del 2018

Chong Obando, Héctor Wellington

C.C: 120249253-2

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Análisis para la obtención de energía eléctrica utilizando un Gasificador de Biomasa		
AUTOR(ES):	Chong Obando, Héctor Wellington		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES):	Hidalgo Aguilar, Jaime Rafael		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Eléctrico Mecánica		
TÍTULO OBTENIDO:	Ing. En Eléctrico Mecánica		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	30 de agosto del 2018	No. DE PÁGINAS:	92
ÁREAS TEMÁTICAS:	Generación Eléctrica, Máquinas Eléctricas		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Energía renovable, Gasificador, Biomasa, Reactor, GEK		
RESUMEN:	<p>El presente trabajo de titulación analiza la propuesta de obtención de energía eléctrica a través de la gasificación de biomasa, de esta manera el objetivo principal es la utilización de un tipo de gas denominado syngas, el cual puede servir como combustible para un sistema de gasificación. El gas obtenido puede utilizarse en un motor a combustión para generar energía eléctrica, muy útil para zonas rurales del Ecuador. A través de la metodología Bibliográfica y Documental, se examinan bases de datos digitales, con el fin de establecer un estado del arte de la gasificación por biomasa, se emplea el método Descriptivo para caracterizar la operación de de un sistema de gasificación de generación eléctrica a pequeña escala que utiliza como biomasa cascara de arroz o el residuo de la mazorca del maíz (tusa). Y se utiliza el método Sintético-Analítico para plantear criterios de generación eléctrica por fuentes renovables en el Ecuador.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0991569425	E-mail: hectorchong66@yahoo.es	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Philco Asqui, Luis Orlando		
COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Teléfono: (04) 2 20933 ext 2007		
	E-mail: luis.philco@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			