

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA



**FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN CARRERA DE
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**TESIS MONOGRÁFICA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
ELÉCTRICO:**

**GUÍA METODOLÓGICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN
SISTEMA DE GASIFICACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE
ELECTRICIDAD JUNTO A UN SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF
GRID CON FINES ACADÉMICOS EN EL LABORATORIO DE
ENERGÍAS RENOVABLES DE LA FACULTAD DE ELECTROTECNIA
Y COMPUTACIÓN.**

ELABORADO POR:

- Br. Abrego Valverde Marlon Ramón -----2016-0112U
- Br. Angulo Chávez Duban Alejandro -----2016-0113U
- Br. Cáceres Salgado Pedro Alexander -----2016-0102U

NOMBRE DEL TUTOR:

MSc. Palacios Rodríguez Augusto César

NOMBRE DEL ASESOR:

Ph.D. Blanco Orozco Napoleon Vicente

Managua, abril 2023

DEDICATORIA

A Dios por permitirnos gozar de buena salud todo este tiempo, a nuestra familia la cual siempre nos dio palabras de aliento en momentos difíciles para poder seguir luchando por el objetivo común; culminar la carrera. Finalmente dedicamos este trabajo a todas las personas involucradas que nos apoyaron de distintas maneras directa e indirectamente quienes nos ayudaron a culminar este trabajo de tesis monográfica.

Con mucho aprecio:

Duban Alejandro Angulo Chávez, Marlon Ramón Abrego Valverde y Pedro Alexander Cáceres Salgado.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por habernos brindado una familia maravillosa quienes nos acompañaron todo este tiempo que estuvimos estudiando para que pudiéramos llegar a ser lo que hoy somos, han creído en nosotros siempre, muchos de nuestros logros se los debemos incluyendo este, dándonos ejemplo de superación, humildad y sacrificio, enseñándonos a valorar todo lo que tenemos. A todos ellos dedicamos el presente trabajo, porque han fomentado en nosotros el deseo de superación y de triunfo en la vida. También queremos agradecerles a nuestro tutor y asesor de tesis quienes nos han brindado todas las herramientas necesarias para poder concluir estos proyectos que son de gran beneficio para las próximas generaciones de estudiantes de la Universidad Nacional de Ingeniería, lo que ha contribuido a la consecución de este logro. Esperamos contar siempre con su valioso e incondicional apoyo.

Índice

1	Introducción.....	1
2	Antecedentes.....	3
3	Objetivos.....	5
3.1	Objetivo general:	5
3.2	Objetivos específicos:	5
4	Justificación	6
5	Marco teórico.....	8
5.1	Marco de la generación de energías renovables en el contexto latinoamericano.	8
5.2	Biomasa y la generación de energía.....	9
5.3	Procesos termoquímicos.....	11
5.4	Tipos de biomasa.....	11
5.4.1	Biomasa natural	12
5.4.2	Biomasa residual	13
5.4.3	Biomasa producida.....	13
5.5	Teoría de la gasificación.....	13
5.6	Gasificadores para la producción de energía eléctrica	15
5.6.1	Generación de electricidad a partir de los residuos.	15
5.6.2	Tipos de Gasificadores	16
5.7	Sistema híbrido de energía renovable	20
5.7.1	La energía solar	20
5.7.2	Radiación solar.....	20
5.7.3	Mapas de recursos solares de Nicaragua / Potencial de energía fotovoltaica (PVOUT)	22
5.8	Sistemas de generación fotovoltaica	30

5.8.1	Sistemas off grid (aislado).....	31
5.8.2	Sistema on grid.....	32
5.9	Paneles fotovoltaicos.....	34
5.9.1	Estructura del panel fotovoltaico.....	35
5.9.2	Celdas y su funcionamiento	35
5.9.3	Clasificación de paneles eléctricos fotovoltaicos.....	42
6	Diseño Metodológico de la investigación.	44
6.1	Diseño de la Investigación.....	44
6.2	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	44
7	Guías metodológicas.....	45
7.1	Guía de laboratorio del sistema fotovoltaico off grid; conexión serie	45
7.2	Guía de laboratorio del sistema fotovoltaico off grid; conexión paralelo	48
7.3	Guía de laboratorio del sistema de gasificación para el tratamiento de biomásas. 51	
7.3.1	Biomasa y la generación de energía.....	51
7.3.2	Tipos de biomasa.....	52
7.3.3	Teoría de la gasificación.....	53
7.3.4	Cuestionario	53
7.4	Identificación de los elementos que conforman el gasificador y puesta en marcha del equipo. 54	
7.4.1	Tipos de biomasa.....	55
7.4.2	Teoría de la gasificación.....	56
7.4.3	Desarrollo de la práctica	57
8	Cronograma de ejecución.	65
9	Conclusiones y Recomendaciones.....	67

10	Referencias Bibliográficas.....	69
11	Indice De Figuras.....	70
12	Indice de tablas.....	72

RESUMEN

El siguiente trabajo tiene como objetivo principal la puesta en marcha e implementación de guías metodológicas de un sistema de gasificación y de paneles solares off grid, con el fin de fortalecer los conocimientos y formación de los estudiantes de la facultad de electrotecnia y computación.

Inicialmente para la reactivación del sistema de gasificación se realizaron constantes visitas técnicas al laboratorio de energías renovables con el fin de conocer las propiedades y características de dicha máquina, esto con el fin de conocer el estado en el que se encontraba para de esta manera determinar procesos y materiales necesarios para proceder con un mantenimiento correctivo.

Mientras tanto que con el sistema de paneles se realizó levantamiento de los recursos (materiales) y procesos para realizar el montaje de este, cabe recalcar que para las pruebas de los paneles solares se decidió realizarlas con halógenos LED en sustitución de la luz solar, todo en pro de la practicidad y factibilidad a la hora de realizar estas, tanto para las futuras generaciones como para el equipo de trabajo mismo.

Finalizado el mantenimiento correctivo de la unidad de gasificación y montaje del sistema de paneles solares, se obtuvieron como resultado 3 guías metodológicas para la máquina de gasificación y 2 para los paneles solares.

Todo esto mediante constantes pruebas para determinar patrones y procesos para el funcionamiento y puesta en marcha de estas, para luego ser sintetizadas de manera práctica y comprensible en las guías, las cuales constan de información introductoria, pasos a seguir para operar los equipos y poner en marcha las máquinas y finalmente con una guía que consta de una serie de preguntas de retroalimentación.

1 Introducción

El sistema eléctrico es necesario para el desarrollo socioeconómico de un territorio, está presente en toda la cadena de producción, distribución y uso final de bienes y servicios. El incremento demográfico, en compañía del acelerado proceso de industrialización, han intensificado la demanda energética mundial, especialmente los países donde las actividades de baja intensidad energética, como la agricultura, se han trasladado a las de uso intensivo de energía, como la construcción y la industria. Además, los avances tecnológicos han causado un incremento en la demanda energética, ya que todos los dispositivos, desarrollados en las últimas décadas, requieren de energía eléctrica para su funcionamiento. Es así como la energía desempeña un papel importante en la economía de un país, ya que es el insumo fundamental para el sector industrial y de servicios. [1]

Por otro lado, el tipo de energía utilizada por el sistema define la matriz energética, la cual se conforma a través de sus fuentes de generación que pueden ser: renovables y no renovables. Las fuentes no renovables se caracterizan por ser finitas, un ejemplo de estas son los hidrocarburos; por el contrario, las fuentes renovables son recursos que se renuevan, entre las que se encuentran el sol, el viento, el agua, entre otras. El agotamiento de las energías no renovables (gas natural, carbón, petróleo y energía nuclear) y el impacto que tiene su explotación para el medio ambiente han incrementado el interés en la diversificación de la matriz energética, mediante la incorporación de energías renovables en el sistema eléctrico. Entre las principales ventajas de las energías renovables se destacan su naturaleza inagotable, renovable y su utilización libre de polución.

El incremento del precio de los combustibles fósiles y su efecto en el medio ambiente, provoca que todos los días crezca más la necesidad de fomentar el análisis y la utilización de tecnologías de energías renovables para sustituir, por lo menos, parte de la demanda energética y minimizar los efectos de los gases de impacto invernadero.

El acceso a las energías renovables representa un valor central para la sostenibilidad ambiental, que en el extenso plazo conserva la vida humana, permite la obtención de comunidades más inclusivas y equitativas en un horizonte de tiempo muchísimo más cercano. Es así como las energías renovables poseen esencial trascendencia en el proyecto de desarrollo de las naciones. En Latinoamérica ciertos territorios han optado por las energías renovables en sus matrices

energéticas, teniendo presente que la parte importante del territorio cuenta con las condiciones naturales para hacer proyectos en energías renovables.

Una de las fuentes renovables de energía de más grande evolución en el planeta es la biomasa, por cierto, es la más primigenia de las fuentes de energía conocidas por el ser humano. En los últimos años las tecnologías dedicadas a su aprovechamiento permitieron desarrollar combustibles para transporte y generación de energía eléctrica y térmica desde los recursos biomásicos.

Uno de los más importantes desafíos de las naciones en vías de desarrollo es el de electrificar las zonas recludas de los primordiales núcleos urbanos, no obstante, las redes centrales no continuamente logran cubrir la demanda, lo cual no posibilita que familias residentes en superficies rurales, varias de estas, regiones no interconectadas, tengan ingreso de manera económica a la energía eléctrica. La biomasa y los sistemas de generación fotovoltaica, son una fuente de energía oportuna para esta clase de sociedades, son ambientalmente amigables y tienen la posibilidad de ser instalados con facilidad en cualquier ubicación.

Esta clase de retos que expone la instalación de sistemas de generación energética tienen que ser enfrentados por expertos calificados en la zona, el conocimiento necesario para desarrollar proyectos de esta índole, es impartido a estudiantes de la Universidad Nacional de Ingeniería a lo largo de su formación académica en la carrera de Ingeniería Eléctrica, se necesita que los nuevos expertos tengan los instrumentos que se precisan para confrontar los retos que se manifiestan una vez que se disponen a laborar en proyectos de sistemas eléctricos para el desarrollo socioeconómico de un sector.

Se propone pues como objetivo de este trabajo monográfico, Elaborar una guía metodológica para la utilización de un sistema de gasificación para la generación de electricidad junto a un sistema fotovoltaico off grid con objetivos académicos. Este trabajo sedimentará las bases para poder hacer un acercamiento teórico y técnico de los estudiantes de Ingeniería Eléctrica a los sistemas de generación de energía eléctrica mediante fuentes de energías renovables, dichos equipos y medios didácticos le permitirán a los maestros y alumnos, hacer prácticas con sistemas de gasificación y sistemas fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica.

2 Antecedentes.

Al examinar los inconvenientes del cambio climático y el calentamiento global, han surgido averiguaciones de enorme trascendencia. Una de ellas es el análisis del uso de la biomasa como una alternativa a la implementación de los combustibles fósiles. De igual manera, la transformación de la energía solar en energía eléctrica utilizable para cualquier aparato o dispositivo eléctrico.^[2]

Las razones sociales, ecológicas y económicas han impulsado a diferentes organizaciones e instituciones a invertir en este tipo de proyectos de generación eléctrica, logrando así crear mecanismos para la lucha contra el cambio climático. La exploración del uso de biomasa como fuente de energía y el desarrollo de las averiguaciones en relación con el proceso de gasificación, han originado el planteamiento de varios modelos para describir y comprender este complejo proceso, tanto en su diseño, como en su simulación, mejora y estudio, los cuales van dirigidos a saciar la necesidad de cuantificar la producción de energía y su eficiencia.

En el laboratorio de Energías Renovables de la Facultad de Electrotecnia y Computación en la Universidad Nacional de Ingeniería, se dio inicio a un proyecto académico que pretendía ser parte de los mecanismos de desarrollo limpio de energía, gracias al ingenio de un equipo de trabajo, conformado por docentes y estudiantes, se logró diseñar un sistema de gasificación para la producción de calor y potencia, se diseñó un gasificador, pero este proyecto fue discontinuado, dejando la unidad de gasificación en fase de prototipado, no se realizaron pruebas ni demostraciones de su funcionamiento.

Hoy en día, el departamento de Ingeniería Eléctrica reúne a un grupo de estudiantes, con el objetivo de reactivar la unidad de gasificación y someter el prototipo a pruebas y análisis, el objetivo de este equipo de trabajo es poner en funcionamiento una unidad de gasificación que será utilizada por el cuerpo de docentes de la Facultad de Electrotecnia y Computación para impartir los laboratorios de las diferentes asignaturas que contemplan el estudio de las energías renovables, este sistemas de gasificación será conectado junto a un sistema de generación fotovoltaico, y ambos sistemas serán usados con fines académicos en el laboratorio de Energías Renovables.

La preparación de guías metodológicas para la utilización de dichos sistemas va a ser imprescindible, pues no hay guías que le posibiliten al alumno, el manejo e información del funcionamiento de esta clase de equipos.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general:

- Elaborar una guía metodológica para la implementación de un sistema de gasificación para la generación de electricidad junto a un sistema fotovoltaico off grid con fines académicos en el laboratorio de Energías Renovables de la Facultad de Electrotecnia y Computación.

3.2 Objetivos específicos:

- Evaluar las características de funcionamiento del sistema de gasificación que se encuentra localizado en el laboratorio de Energías renovables, a través de un análisis y pruebas de maniobra del equipo, logrando así detectar los problemas que presenta la unidad de gasificación.
- Reactivar el sistema de gasificación por medio de un mantenimiento correctivo, logrando así que este sistema sea usado para la generación de electricidad con fines académicos.
- Proponer guías metodológicas del sistema híbrido, detallando la puesta en marcha y funcionamiento del sistema de generación energética para ser implementado con fines académicos.

4 Justificación

La presente investigación se **justifica teóricamente y posee utilidad metodológica** porque, a través de los estudios que se van a hacer para diseñar una guía metodológica de dichos sistemas de generación, se van a crear aportes de puntos teóricos y guías metodológicas que detallan el funcionamiento de los equipos de generación eléctrica que se presentan en esta investigación. Dichos aportes teóricos van a poder ser usados a grado académicos y a niveles profesionales para generalizarlos y de esta forma poder aplicar dichos conocimientos a la evaluación del manejo de los sistemas de gasificación y los sistemas fotovoltaicos a grado industrial, mismos sistemas que son analizados por los alumnos de ingeniería a lo largo de su formación académica y siguen siendo analizados a lo largo de su fase de profesional en las organizaciones.

Posee **justificación práctica**, porque la reactivación del sistema de gasificación y el sistema fotovoltaico, permitirá que los estudiantes y futuros profesionales de ingeniería se preparen para su etapa profesional, realizando prácticas de laboratorio con equipos que les permitirán simular una inmersión completa en el entorno profesional. Como estudiantes lograrán adquirir conocimientos y la habilidad de solucionar problemas específicos de procesos que tengan que ver con sistemas de gasificación y sistemas fotovoltaicos. Al mejorar la calidad de conocimiento que adquieren los estudiantes respecto al uso de las energías renovables, se estará logrando desarrollar conocimientos y conciencia social en los profesionales del mañana, profesionales que van a impulsar los mecanismos de desarrollo limpio de energía en el país.

La justificación económica y el impacto social, forman parte de esta investigación. La energía generada por los sistemas de gasificación y sistemas fotovoltaicos ayudan a afrontar las necesidades energéticas de manera sostenible y contribuyen en gran medida a la solución de los retos de principio de siglo, como la pobreza, el cambio climático, la seguridad alimentaria, etc. La convergencia actual de diversas crisis (económica, junto con la continua volatilidad de los precios del petróleo y los alimentos) configura un escenario adecuado para plantear una nueva formulación de las políticas, así como para destinar mayores inversiones hacia un proceso de desarrollo más seguro y sostenible. Uno de los factores en los que se viene trabajando y el cual contribuirá a aumentar la popularidad de las energías alternativas es el aumento de su uso eficiente.

Con la activación de estos sistemas de generación eléctrica, que funcionarán como materiales didácticos en el laboratorio de Energías Renovables, se estará facilitando la dinámica de enseñanza – aprendizaje para que los estudiantes logren prepararse y enfrentar las necesidades energética de manera sostenible.

5 Marco teórico.

5.1 Marco de la generación de energías renovables en el contexto latinoamericano.

El acceso a formas de energías modernas y limpias es vital para el desarrollo humano y económico de un país. Si bien dicho acceso por sí solo no garantiza el desarrollo humano, resulta virtualmente imposible mejorar los niveles de vida en condiciones de carencia de un suministro energético asequible y previsible. En América Latina y el Caribe hay 70 millones de personas que no cuentan aun con servicio moderno de electricidad. [3]

El consumo eléctrico per cápita en América Latina y el Caribe es mayor en aquellos países donde el Producto Bruto Interno (PBI) per cápita es mayor. Nótese que los países representados en dicho Gráfico están segregados por ingresos altos, medios y bajos, teniendo a Trinidad y Tobago con el mayor PBI per cápita y Haití con el menor. Además de brindar acceso a la electricidad, las energías renovables no convencionales tienen otros beneficios ya que pueden ser utilizadas remotamente en comunidades no conectadas a redes nacionales de suministro eléctrico, utilizan fuentes de energía disponibles localmente, gratuitas, inagotables y que no generan contaminación. La energía solar, en particular, es una opción renovable especialmente atractiva para atender comunidades lejanas por ser una tecnología naturalmente descentralizada, con buena disponibilidad geográfica del recurso, inmune a la oferta o incertidumbre de los precios de combustibles tradicionales. Adicionalmente, la elección de energías renovables para la electrificación, particularmente la rural, contribuye a la seguridad energética del país, diversificando la matriz nacional y limitando el aumento de las importaciones de combustibles extranjeros. La reducción del costo energético tiene un impacto mayor en las comunidades de bajos recursos.

El acceso a las energías renovable representa un valor central para la sostenibilidad ambiental, que en el largo plazo preserva la vida humana, facilita la obtención de sociedades más inclusivas y equitativas en un horizonte de tiempo mucho más cercano. Es así como las energías renovables tienen vital importancia en el plan de desarrollo de los países. En América Latina algunos países han optado por las energías renovables en sus matrices energéticas, teniendo en cuenta que la gran parte de la región cuenta con las condiciones naturales para realizar proyectos en energías renovables.

Las energías renovables son fundamentales para el desarrollo humano y económico de un país, su incorporación puede solucionar el problema del suministro de energía eléctrica en zonas no interconectadas; por ejemplo, la energía solar es una opción muy atractiva para atender la demanda en zonas apartadas, como las comunidades rurales. Además, la elección en energías renovables mejora la seguridad energética de un país, diversificando la matriz nacional, y limitando el aumento de importaciones de combustibles extranjeros.

5.2 Biomasa y la generación de energía.

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. La biomasa puede ser obtenida a partir de cultivos especialmente destinados a la producción de energía, como algunos cultivos de caña de azúcar, cosechando algunos productos forestales como por ejemplo madera, o a partir de residuos orgánicos, sean estos provenientes de la agro-explotación animal o vegetal o bien de vertederos de desechos en las ciudades. En cualquier caso, sea cual sea la fuente, la biomasa exige ser cosechada o recolectada, almacenada y posteriormente transportada a la instalación donde se pretende hacer uso de ella antes de ser transformada en bioenergía a partir del uso de una tecnología adecuada.

La biomasa puede ser transformada en formas útiles de energía usando diferentes procesos. Los principales factores que influyen la decisión a la hora de escoger el tipo de proceso son el tipo y cantidad de recursos biomásicos disponibles, el uso final que se desea obtener de la energía, las limitaciones ambientales que puedan ser impuestas a este tipo de proyectos, las condiciones económicas y los requerimientos específicos de estos proyectos. Generalmente lo primero que se establece es la forma final de uso de la energía, para diseñar la hoja de ruta del proyecto.

La biomasa puede ser transformada básicamente en 3 subproductos:

- Productos para la generación de potencia y calor.
- Productos para ser usados como combustibles en el transporte.
- Productos químicos cuyo uso final no tiene que ver con la generación de energía.

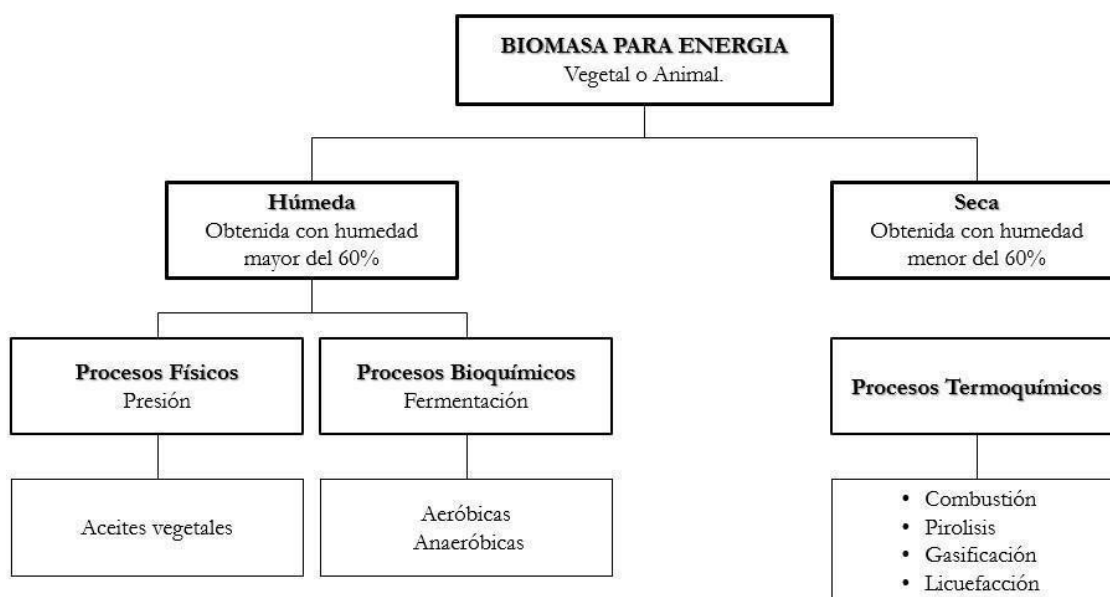
Desde el punto de vista del aprovechamiento energético, la biomasa se caracteriza por tener un bajo contenido de carbono, un elevado contenido de oxígeno y compuestos volátiles. Estos compuestos volátiles que son los que concentran una gran parte del poder calorífico de la biomasa. El poder calorífico de la biomasa depende mucho del tipo de biomasa considerada y de su humedad. Así normalmente estos valores de poder calorífico de la biomasa se pueden dar en base seca o en base húmeda.

Desde el punto de vista ambiental, el aprovechamiento energético de la biomasa no contribuye al aumento de los gases de efecto invernadero, dado que el balance de emisiones de CO₂ a la atmósfera es neutro. En efecto, el CO₂ generado en la combustión de la biomasa es reabsorbido mediante la fotosíntesis en el crecimiento de las plantas necesarias para su producción y, por lo tanto, no aumenta la cantidad de CO₂ presente en la atmósfera. Al contrario, en el caso de los combustibles fósiles, el carbono que se libera a la atmósfera es el que está fijo a la tierra desde hace millones de años.

Desde el punto de vista energético resulta conveniente dividir la conversión de la biomasa en dos grandes grupos:

Figura 1.

Procesos de conversión de biomasa en energía.

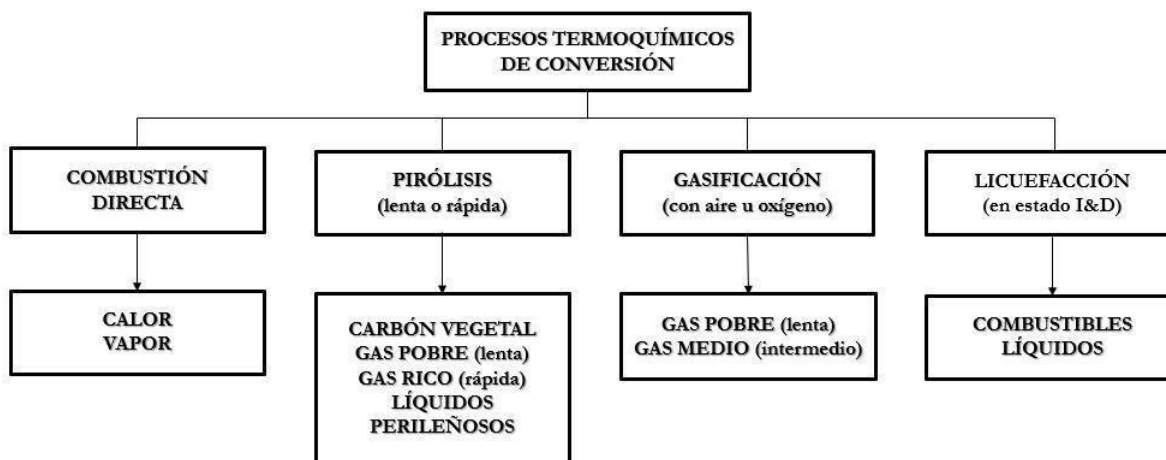


5.3 Procesos termoquímicos

Comprenden básicamente la Combustión, Gasificación y Pirólisis, encontrándose aún en etapa de desarrollo la Licuefacción directa.

Figura 2.

Procesos termoquímicos de conversión de biomasa en energía.



5.4 Tipos de biomasa

La biomasa es toda materia orgánica generada en un proceso biológico, provocado o espontáneo, utilizable como fuente de energía. En general hablamos de biomasa como materia viva, de la cual podemos aprovechar su potencial energético para la generación de energía o combustibles aprovechables por el hombre.

La biomasa, principalmente en forma de madera, es la fuente de energía más antigua usada por la humanidad. Tradicionalmente la energía de la biomasa se ha usado a través de combustión directa y este proceso incluso hoy, es ampliamente usado alrededor del mundo. Igualmente, La bioenergía tiene el potencial de ser “mundialmente modernizada”, producida y utilizada de forma eficiente, a un costo competitivo, usando tecnologías que la conviertan a gas, líquido, o electricidad directa.

La biomasa se puede clasificar no sólo por su origen sino por el tipo de residuo, 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 estos grupos de subproductos se encuentran disponibles gracias al desarrollo de otras actividades o bien debido a cultivos con propósitos meramente energéticos.

En la siguiente tabla se muestran los valores caloríficos bruto de residuos agrícolas y forestales, cultivos energéticos.

Tabla 1.

Valores caloríficos brutos de varias sustancias biomásicas.

	Tipos de Biomasa	Valor calorífico bruto (MJ/kg)
Madera	Astilla de madera	20.89
	Corteza de pino	20.95
	Desechos industriales de madera	19.00
Subproductos agrícolas	Paja de trigo Caña	18.94
		18.06
	Bagazo	18.09
	Cascara de coco	18.60
	Olote de maíz	17.72
	Paga de arroz	15.61
	Cascarilla de arroz	15.58
	Aserrín	19.34

5.4.1 Biomasa natural

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.

5.4.2 Biomasa residual

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.

5.4.3 Biomasa producida

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.

5.5 Teoría de la gasificación

La gasificación de la biomasa es una tecnología de más de cien años de antigüedad. Hoy es vista como una alternativa a los combustibles convencionales. Es un proceso térmico en el cual combustibles sólidos tales como madera, residuos agrícolas y otros tipos de biomasa seca son convertidos en un gas combustible que puede ser quemado en motores de combustión interna, turbinas o en equipos de producción de calor y potencia.

La gasificación es un proceso por el cual la biomasa es transformada en un gas combustible por descomposición térmica y reacciones químicas a alta temperatura en presencia de un agente gasificante. Se diferencia por tanto de la combustión, en el que el gas final obtenido en este último no es combustible.

La gasificación se define como la conversión termoquímica de un combustible sólido en un gas portador de energía por medio de una oxidación parcial a elevada temperatura. En términos generales la gasificación es una interacción entre combustible y un agente gasificante compuesto en distinta proporción por oxígeno, aire, vapor de agua e incluso dióxido de carbono y nitrógeno. Normalmente se realiza en un recipiente cerrado, conocido por gasificador, en el cual se introduce el combustible y una cantidad de aire menor a la que se requeriría para su combustión

completa. El gas pobre obtenido puede quemarse luego en un quemador para obtener energía térmica, en una caldera para producir vapor, o bien ser enfriado para su uso en un motor de combustión interna que produzca, a su vez, energía mecánica.

El procesamiento termoquímico de la biomasa genera productos gaseosos, líquidos y sólidos e igualmente ofrece la posibilidad de producir combustibles gaseosos y líquidos. 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.

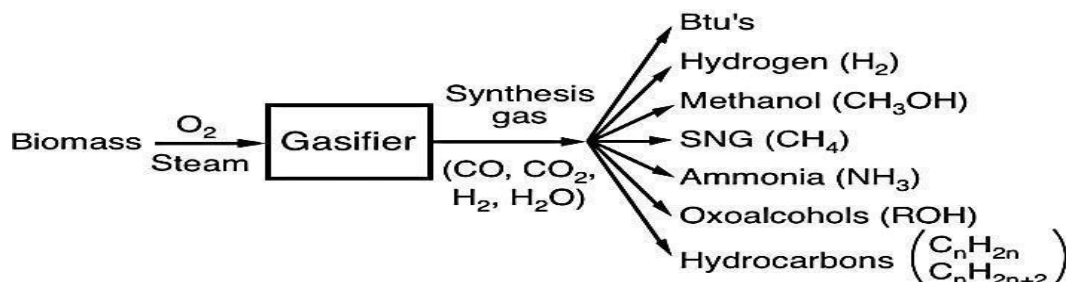
Algunas consideraciones importantes sobre la gasificación de la biomasa son:

- 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).

La gasificación de la Biomasa recoge productos sólidos, líquidos y gaseosos para transformarlos en gases útiles en la generación de energía. La Gasificación es la degradación total del sustrato de carbono (en este caso particular, la biomasa) hasta llevarlo a forma gaseosa. Cuando se usa el oxígeno como agente oxidante los productos de la gasificación son principalmente metano (CH_4), monóxido y dióxido de carbono (CO y CO_2 respectivamente). Adicionalmente durante el proceso se producen otros gases como hidrógeno (H_2) y nitrógeno (N_2), y queda un residuo de materia inerte. La gasificación ocurre de acuerdo a la siguiente secuencia de procesos en la gran mayoría de gasificadores, con pequeñas variaciones los unos de los otros. En primer lugar, la biomasa debe ser secada, luego calentada, a continuación, ocurre la descomposición térmica y finalmente ocurre la gasificación. El gasificador se calienta para favorecer las reacciones endotérmicas que ocurren en el proceso.

Figura 3.

Productos de la gasificación de biomasa.



5.6 Gasificadores para la producción de energía eléctrica.

En principio, la gasificación es la descomposición térmica de materia orgánica en una atmósfera deficiente de oxígeno, produciendo una mezcla de gases combustibles y no combustibles. Normalmente la mezcla de gases incluye monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H₂), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), trazas de hidrocarburos superiores, agua, nitrógeno (si se utiliza aire como agente de gasificación). La gasificación también produce alquitrán y partículas sólidas como cenizas y carbón vegetal.

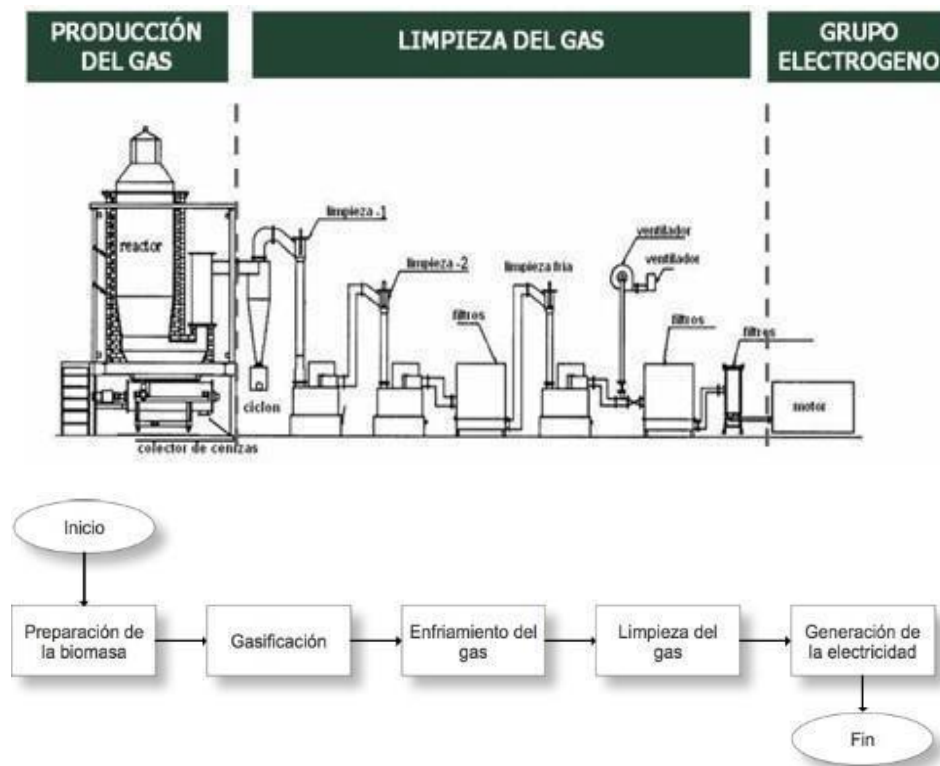
5.6.1 Generación de electricidad a partir de los residuos.

La utilización de los residuos de la industria forestal como combustible para la producción de electricidad y calor, requiere de ciclos térmicos de potencia. Los residuos pueden ser utilizados como combustible en un generador de vapor para alimentar a una turbina acoplado a un generador eléctrico, también pueden quemarse en una cámara de combustión y posteriormente los gases calientes productos de este proceso utilizados en una turbina de gas accionando esta un generador eléctrico. Además del proceso de combustión para la generación de electricidad, puede emplearse otra reacción química la gasificación, ésta a diferencia de la combustión ocurre con defecto de aire y los gases producto de este proceso pueden utilizarse para generar electricidad en turbinas de gas o motores de combustión interna. Acoplados a generadores eléctricos.

En ésta última aplicación el esquema general de la instalación se representa en la figura 4.

Figura 4.

Diagrama de instalación de un gasificador con sus etapas de proceso de gasificación.



El gas combustible (gas pobre) generado producto de la gasificación de la biomasa en un reactor (gasificador) se limpia y refrigera antes de entrar en el motor, donde ocurre la transformación de energía química del combustible en trabajo mecánico y un generador eléctrico donde se transforma esta energía en energía eléctrica.

La composición media de los gases producto del proceso de gasificación es la siguiente: 23 % de CO, 18 % de H₂, 1 % de CH₄, 48 % de N₂ y 9 % de CO₂ y su poder calórico 5 MJ/m³. [4]

5.6.2 Tipos de Gasificadores

Existen en el mercado, diferentes tipos y tamaños de Gasificadores, que utilizan distintos tipos de materia prima como madera, paja, carbón vegetal, carbón, cascarillas de arroz y desechos agrícolas. Los sistemas de gasificación ascendente (cama fija) son una tecnología antigua que se utilizan desde 1839 y utilizados para la combustión de carbón y coque. Antes de la Segunda

Guerra Mundial, se utilizaron generadores de gas de madera de lecho fluidizado para motores de combustión interna y aplicaciones automotrices. Un interés renovado en la gasificación de biomasa se hizo evidente después de la crisis energética de la década de 1970. Se indicó además que la tecnología de gasificación de biomasa era conocida como una alternativa relativamente asequible para las generaciones de pequeña potencia industrial. [5]

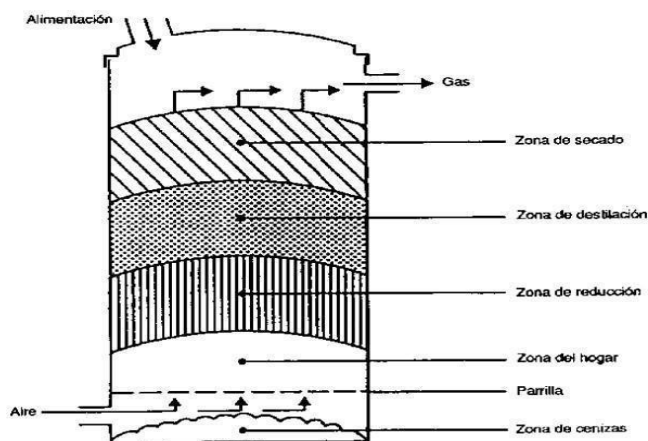
Los Gasificadores se clasifican por la forma en que el aire, oxígeno y/o vapor es introducido en el sistema. La elección de un tipo de gasificador sobre otro depende de factores como el tipo de materia prima, su contenido de humedad, cenizas y la forma del combustible. Los tres tipos más comunes de Gasificadores se denominan: **Ascendente (U draft)**, **Descendente (Down draft)** y **de Lecho Fluido**.

5.6.2.1 Ascendente (Updraft)

Este tipo de gasificador tiene bien definidas las zonas de combustión parcial, de reducción y pirolisis. El aire es suministrado por la parte baja de gasificador y este circula en contracorriente. El gas de síntesis es entregado por la parte superior a unas temperaturas relativamente bajas. Las desventajas de este sistema de gasificación son el alto contenido de alquitrán del gas producido y la capacidad marginal que tiene en su carga, por ende, la imposibilidad de generar de un gas de síntesis permanente si no fluctuante aumentando las dificultades para la utilización en motores de combustión interna.

Figura 5.

Gasificador de flujo ascendente.

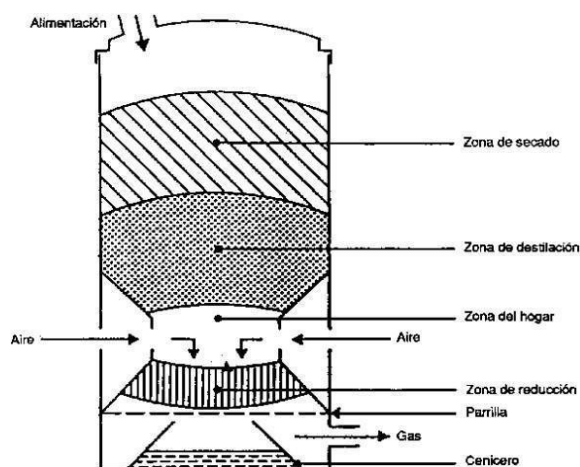


5.6.2.2 *Descendente (Downdraft)*

El gasificador downdraft entrega el gas de síntesis por la parte baja y la admisión de aire es realizada por la parte media del mismo.

Figura 6.

Gasificador de flujo descendente.



Las dificultades que tiene que enfrentar de esta configuración es el contenido de cenizas y humedad; por otra parte, requiere de un tiempo prolongado de encendido que puede estar en un rango de 20 a 30 minutos. En general este tipo de configuración es más aceptable para aplicaciones en motores de combustión interna y turbinas de gas.

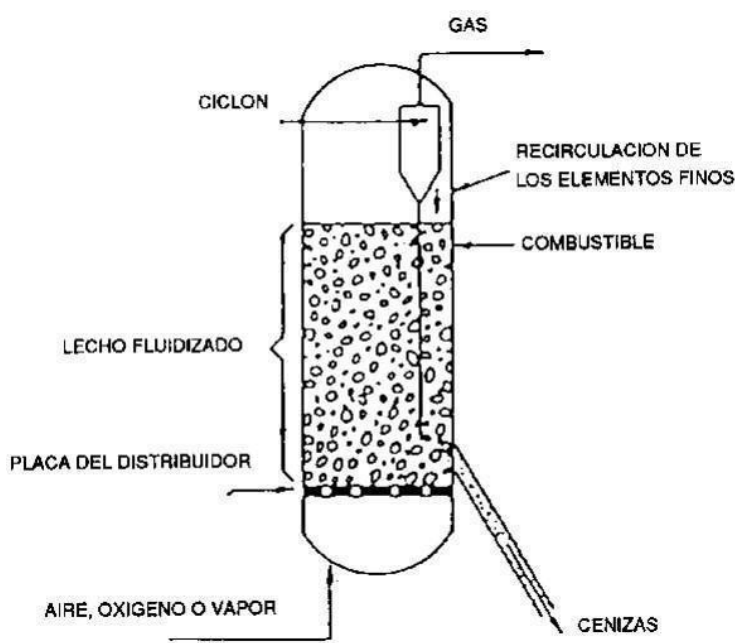
5.6.2.3 De lecho fluido

En el equipo se suministra el aire a través de un lecho de partículas sólidas a una velocidad suficiente para mantenerlas en estado de suspensión, comenzando por calentar externamente el lecho y el material de alimentación (bio-masa). Es introducida a alta velocidad hasta alcanzar una temperatura suficientemente elevada.

Las partículas del combustible se introducen en el lecho del reactor y se mezclan rápidamente con el material, calentándose casi instantáneamente, alcanzando así la temperatura. Como resultado de este tratamiento, el combustible se piroliza muy rápidamente, dando como resultado una mezcla de componentes con una cantidad relativamente elevada de materiales gaseosos.

Figura 7.

Gasificador de lecho fluido.



5.7 Sistema híbrido de energía renovable

Los sistemas híbridos son aquellos que generan electricidad a partir de dos o más fuentes, generalmente de origen renovable, compartiendo un mismo punto de conexión en este caso un transfer switch de 2 o más posiciones su funcionamiento integra: Controlador de carga solar PWM, inversor de corriente, y batería de almacenaje de carga. Cabe recalcar que este diseño no comprende la sincronización automática por tal razón no puede funcionar en paralelo, los inconvenientes en el sistema híbrido son minimizados a factores externos y no de funcionalidad, de esta manera si incrementa la disponibilidad de la energía evitando interrupciones con las distintas etapas de conversión y acumulación de la energía, a consecuencia, se evidencia que el Sistema Híbrido es la mejor opción si se requiere un 99.99% de disponibilidad.

Cabe recalcar que inicialmente el objetivo de este trabajo monográfico era que ambos sistemas de generación trabajaran de manera híbrida, sin embargo, al momento de realizar el costo y presupuesto para la puesta en marcha e implementación de los equipos, no se alcanzó a costear un motor a combustión que debido al funcionamiento del sistema de gasificación es indispensable para que ambos sistemas trabajen de manera híbrida, al no contar con dicho motor se optó por dejar a ambos sistemas trabajando de manera independiente.

5.7.1 La energía solar.

La energía solar es una de las alternativas energéticas más importantes en la actualidad, esta ofrece una serie de ventajas tales como:

- Utiliza recursos naturales inagotables: la luz del sol.
- Es una energía limpia que no genera emisiones de gases contaminantes ni otro tipo de residuos.
- Es una solución ideal para disponer de electricidad en zonas aisladas.
- Es la única energía renovable que puede instalarse a gran escala dentro de las zonas urbanas.

5.7.2 Radiación solar.

La salida del sol se le conoce como Radiación solar que va desde ondas de longitud corta y de alta energía como son los rayos Gamma, hasta las radiaciones de la longitud de onda de

baja energía como son las ondas de radio. En medio de estos rangos esta los rayos X, la luz visible y el calor

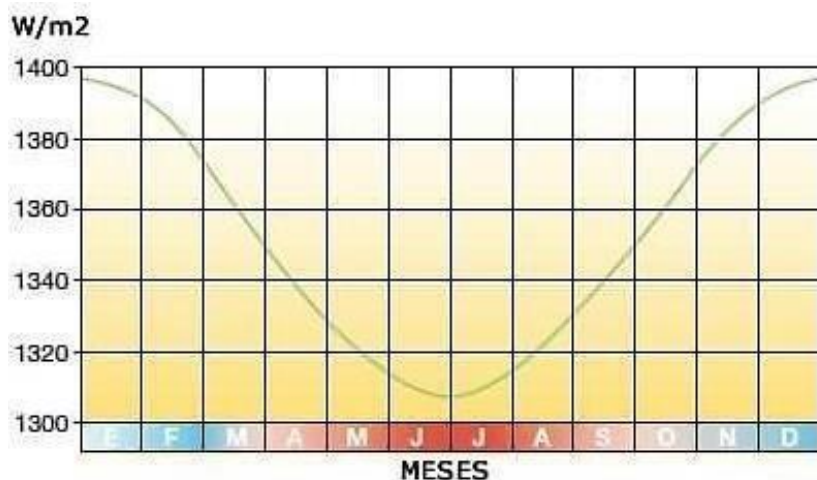
(Radiación infrarroja). En tanto que sol libera numerosas formas de energía, la mayoría de estas (alrededor del 40%) es radiación infrarroja (Calor) y luz visible (alrededor del 10%).

La potencia solar que recibe el planeta Tierra (fuera de la atmósfera) es cerca de 173×10^{12} kW o una energía de 15×10^{17} kWh por año. Al atravesar la atmósfera, cerca de 53% de esta radiación es reflejada y absorbida por el nitrógeno, oxígeno, ozono, dióxido de carbono, vapor de agua, polvo y las nubes. Por lo tanto, al pasar esta radiación por una distancia de 150 millones de km, se reduce esta cantidad y el final planeta recibe energía promedio a 3×10^{17} kWh al año, equivalente a 4000 veces el consumo del mundo entero en un año (7×10^{13} kWh/año), lo cual nos indica la enorme potencia del Sol.

La potencia radiante de 1367 W/m^2 , denominada **constante solar**, que llega al Planeta Tierra no es la que finalmente alcanza la superficie terrestre debido a la influencia de los fenómenos atmosféricos, la actividad humana, la forma propia de la Tierra, el ciclo día/noche y la órbita elíptica de la Tierra.[6]

Figura 8.

Variación de la radiación atmosférica mensual.



Como se puede observar la radiación que alcanza la atmósfera es mayor en los meses de invierno que en verano, esto es debido a que la órbita elíptica de la tierra se encuentra más próxima al sol en estos meses.

5.7.3 Mapas de recursos solares de Nicaragua / Potencial de energía fotovoltaica (PVOUT)

Nicaragua pretende ser menos dependiente de la energía térmica, que se produce a base de los derivados del petróleo, y por ello ejecuta proyectos de desarrollo solar en la costa Caribe y en zonas rurales del país. La energía renovable en Nicaragua continúa avanzando viento en popa. En 2006, la energía renovable representaba apenas el 25% de la matriz energética nacional, fundamentalmente hidroeléctrica y geotérmica. Hasta el mes de diciembre de 2018 las energías renovables representaron 59% de la matriz energética nacional. En cuanto al aporte por sector en generación renovable se estima que la biomasa con residuos de caña de azúcar aportó 216 MW; hidroeléctrica 150 MW; geotérmica 154 MW; eólica 186 MW; y solar 13 MW. La geotérmica ha sido considerada la energía del futuro de Nicaragua pues en comparación con la eólica y la hidroeléctrica, es más firme y constante en su nivel de generación y cuenta con un gran potencial.

En este documento se presentan mapas y datos del potencial de energía fotovoltaica que tiene Nicaragua. Los mapas y datos para Nicaragua se han lanzado en paralelo con Global Solar Atlas, que es publicado por el Grupo del Banco Mundial, financiado por ESMAP, y preparado por SOLARGIS. Este es un software de sistema de información geográfica (SIG) gratuito y de código abierto que permite la visualización, consulta y análisis de los datos proporcionados. También incluye una rica caja de herramientas y funcionalidades para manipular con datos.

El mapa PVOUT proporciona un resumen del potencial de generación de energía solar fotovoltaica (PV) estimado. Representa el promedio a largo plazo de la producción potencial de electricidad anual/diaria de una planta de energía solar fotovoltaica (PV) conectada a la red de 1 kW de pico. La configuración del sistema fotovoltaico consta de estructuras independientes en el suelo con módulos fotovoltaicos de silicio cristalino montados en una posición fija hacia el ecuador con una inclinación óptima para maximizar el rendimiento energético anual.

Figura 9.

Mapa del potencial eléctrico fotovoltaico de nicaragua

MAPA DE RECURSO SOLAR

POTENCIAL ELÉCTRICO FOTOVOLTAICO NICARAGUA



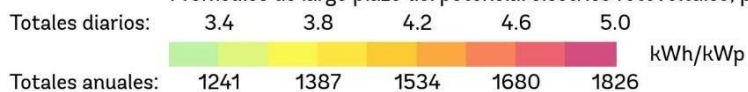
WORLD BANK GROUP

ESMAP

SOLARGIS



Promedios de largo plazo del potencial eléctrico fotovoltaico, periodo 1999-2018



Nota: Este mapa esta publicado por el banco mundial, financiado por ESMAP, y preparado por Solargis.

5.7.3.1.1 Irradiación Horizontal Global (GHI)

GHI es el parámetro más importante para el cálculo del rendimiento energético y la evaluación del rendimiento de las tecnologías fotovoltaicas (PV) de placa plana. En el actual documento se presenta una serie de mapas de recursos solares, estos mapas de recursos solares proporcionan un resumen de la energía solar estimada disponible para la generación de energía y otras aplicaciones energéticas. Representa el promedio a largo plazo de la suma anual/diaria de la irradiación horizontal global (GHI). La base de datos de recursos solares subyacente se calcula mediante el modelo SOLARGIS a partir de datos atmosféricos y satelitales con intervalos de tiempo de 10, 15 o 30 minutos (según la región). Los efectos del terreno se consideran a una resolución espacial nominal de 250 m.

Figura 10.

Mapa de Irradiación global horizontal de Nicaragua.



Nota: Este mapa esta publicado por el banco mundial, financiado por ESMAP, y preparado por Solargis.

5.7.3.1.2 Irradiación Normal Directa (DNI)

DNI es el parámetro más importante para el cálculo del rendimiento energético y la evaluación del rendimiento de las tecnologías de energía solar de concentración (CSP) y fotovoltaica solar de concentración (CPV). DNI también es importante para el cálculo de la irradiación global recibida por módulos fotovoltaicos inclinados o de seguimiento solar.

Estos mapas de recursos solares proporcionan un resumen de la energía solar estimada disponible para la generación de energía y otras aplicaciones energéticas. Representa el promedio a largo plazo de la suma anual/diaria de irradiación normal directa (DNI).

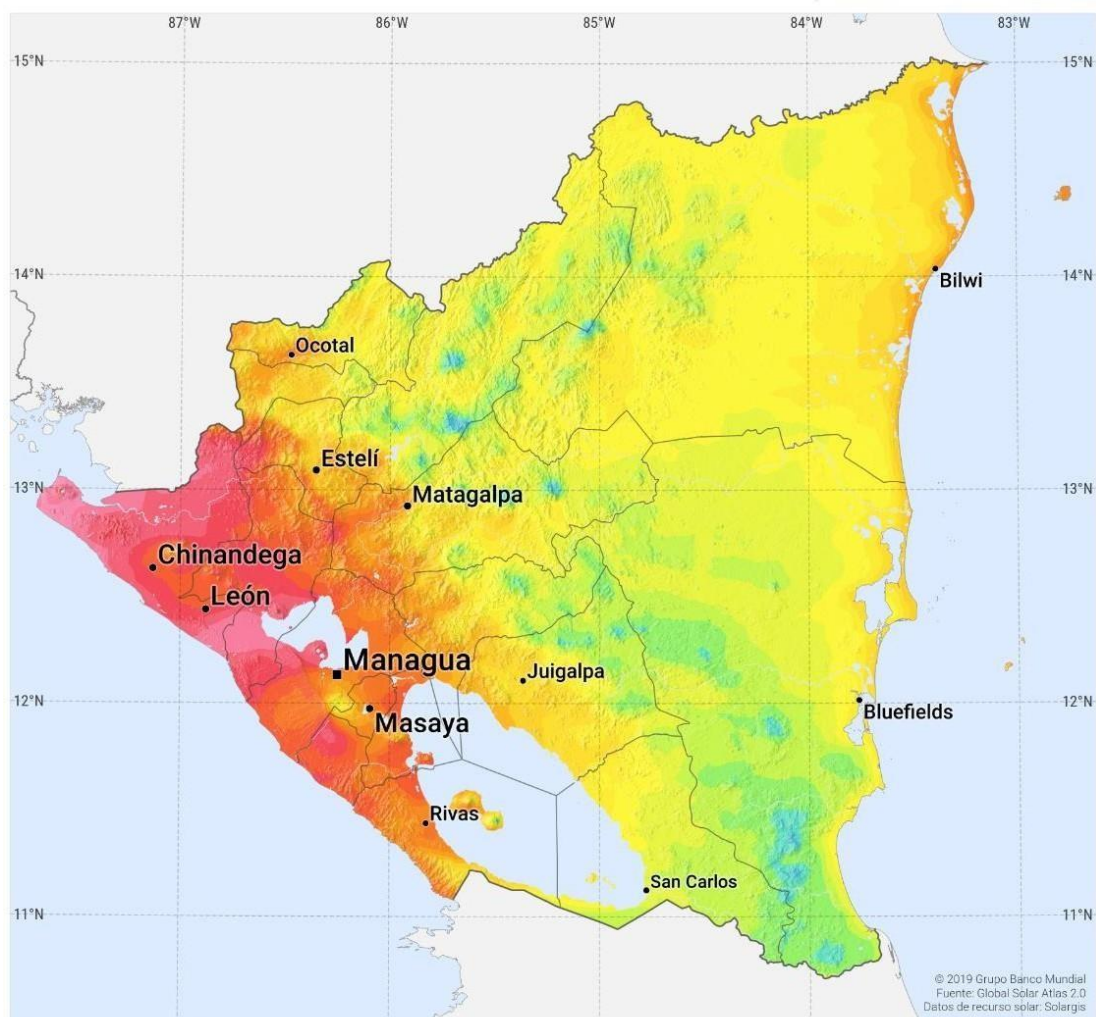
Figura 11.

Mapa de irradiación directa normal de Nicaragua

MAPA DE RECURSO SOLAR

IRRADIACIÓN DIRECTA NORMAL

NICARAGUA



Nota: Este mapa esta publicado por el banco mundial, financiado por ESMAP, y preparado por Solargis.

Existen otros conceptos que se debe manejar para una mejor introducción a la temática de la energía fotovoltaica los conceptos en cuestión son la irradiancia e irradiación.

Irradiancia: Es la cantidad de radiación solar que impacta en un metro cuadrado de la atmósfera de la tierra, se mide en watts/m². Se mide justo antes que la radiación entre en la atmósfera (1,336 watts/m²). En un tiempo, la radiación entrante que alcanza el panel solar se reduce alrededor de 1000 watts/m².

Irradiación: Es la irradiancia en función del tiempo cuando impacta al módulo fotovoltaico durante un tiempo especificado (por lo general una hora o un día) ejemplo: [Radiación de 1000 watts/m² * 2 Horas] = 2000 watts-Hora/m². Cabe recalcar que para las pruebas que se llevarán a cabo con los paneles solares, se realizarán con irradiación artificial obtenida por la iluminación de luminarias y no con la luz solar.

Sin embargo, se debe determinar qué tipo de luminarias es la más adecuada para reemplazar a la luz solar, a continuación, se hará una comparación de las características de los tipos de luminarias tales como: incandescentes, fluorescentes, LED, halógenas, etc., y así puntuar la más ideal a utilizar.

Primeramente, definamos ¿qué es la luz?

La luz es una radiación que se propaga en forma de ondas, las ondas que se pueden propagar en el vacío se llaman ondas electromagnéticas, la luz es una radiación electromagnética.

Las ondas de radiación electromagnética que forman la luz visible tienen longitudes de onda entre 400 nanómetros (luz violeta) y 700 nanómetros (luz roja), en el Sistema Internacional, la unidad de medida de la longitud de onda es el metro, como la de cualquier otra longitud.

Una vez comprendido que es el fenómeno que conocemos como luz, surge la siguiente pregunta ¿qué es la luz solar?

La luz solar consiste en un espectro de rayos de diferentes longitudes de onda, el sol es una fuente de todo el espectro de radiación ultravioleta, que se suele subdividir en UVA, UV-B y UV-C.

La longitud de onda, un descriptor fundamental de la energía electromagnética, es la distancia entre los puntos correspondientes de una onda propagada, las longitudes de onda típicas de las fuentes de luz ultravioleta van desde el ultravioleta (UV-C: 100 a 280 nm; UV-B: 280 a 315 nm; UV-A: 315 a 400 nm) hasta la luz visible (400 a 700 nm) y el infrarrojo (700 a 3000 nm).

Ahora puntualizados estos conceptos, se muestran las características de los tipos de luminarias y su longitud de onda para así determinar cuál es el más idóneo para sustituir la luz solar en el sistema de paneles solares.

- **Lámparas incandescentes:** se produce luz al calentar un filamento. Su principal característica es que emite mucho calor, de hecho, se desaprovecha prácticamente toda la energía que se necesita. A pesar de que son baratas, tienen una vida útil muy limitada y la luz que emiten es cálida, no apta para todos los ambientes.

Esta tiene una longitud de onda entre 380-750 nm.

- **Halógenas:** son focos pequeños y con mucha potencia. Aunque nos pueda parecer que es mayor su rendimiento es muy parecido al de las incandescentes, y duran más o menos lo mismo. Hoy en día se han mejorado y llegan a ofrecer hasta un 40% más de luz.

La longitud de onda está entre 400-500 nm.

- **Fluorescentes:** se basan en una tecnología eficiente, que combina gases y sales que emiten luz al contacto con una corriente eléctrica. De hecho, llegan a consumir hasta un 80% menos que una bombilla incandescente sin mermar su capacidad lumínica y suelen durar entre 6 y 20 veces más. Su principal desventaja es que hay que esperar unos segundos para que se enciendan del todo, pero puedes elegir la tonalidad de la luz.

La longitud de onda está entre 340-370 nm.

- **Bombillas de bajo consumo:** utilizan básicamente la tecnología de los fluorescentes, pero en forma de bombilla, por lo que podríamos hablar de las mismas ventajas e inconvenientes.

En este caso la lámpara de bajo consumo, casquillo G23 con emisión ultravioleta de Longitud de Onda = 254,6 nanómetros, esta más que todo destinada para diferentes actividades donde se aprovecha mejor sus características lumínicas y de longitud de onda, tales como: germicida, destinada a la desinfección y esterilización de material quirúrgico, estilismo, sistemas de filtrado, etc.

- **Bombillas LED:** son la alternativa ideal hoy en día, por su consumo y la cantidad de luz que emiten, pero también son las que tienen un precio más elevado. La luz no se concentra en un único punto, como pasa con la incandescente, y puede llegar a tener unas 50.000 horas de uso, es decir, que multiplica por 50 la vida de sus competidoras.

Los diodos emisores de luz UV (LED) tienen una salida espectral estrecha centrada en una longitud de onda específica, +/- 15nm, con lámparas comerciales típicas de LED UV que emiten a 365nm, 385nm, 395nm o 405nm de longitud de onda.

De esta manera se determina que la luz LED es la más indicada para sustituir a la luz solar en el sistema de paneles solares, esto se debe a que las lámparas LED emiten espectros de luz similares a los de la luz solar natural, ya que su longitud de onda alcanza picos bastante similares a los rayos ultravioleta tanto los UV-C, UV-B y UV-A.

5.8 Sistemas de generación fotovoltaica.

Se denomina energía solar fotovoltaica a aquella energía que produce electricidad y que se obtiene directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, que constituye los paneles solares. La energía solar fotovoltaica es de origen renovable.

Es energía limpia que cuida al ambiente porque al producirla no se generan gases de efecto invernadero que ocasionan el calentamiento global, como lo hacen las energías que se obtienen a través de la combustión de derivados de los hidrocarburos.

La energía solar fotovoltaica tiene actualmente innumerables aplicaciones, siendo una de ellas para suministrar electricidad a viviendas aisladas de la red eléctrica, también para producir electricidad a gran escala a través de redes de distribución.

El funcionamiento de un sistema fotovoltaico es posible gracias a los paneles solares donde gracias al efecto fotoeléctrico, la energía solar se convierte en energía eléctrica de corriente directa, la cual no se puede utilizar de forma convencional si no es transformada en corriente alterna.

Es aquí donde entra en juego la función del inversor, pieza clave del sistema fotovoltaico, ya que es él quien convierte la corriente para que sea compatible con cualquier tipo de instalación, tales como domésticas, comerciales o industriales, posteriormente, dependiendo del tipo de sistema fotovoltaico, se pueden tener controladores de cargas que regulan el uso de la energía o un banco de baterías que permita el almacenamiento de la energía.

Otro elemento importante es el centro de carga, ya que suele ser el punto de conexión o de distribución de la energía fotovoltaica para que finalmente, el medidor bidireccional registre la energía que se regresa a la red de CFE cuando el sistema está interconectado a la red eléctrica.

Dependiendo de las necesidades humanas, el sistema fotovoltaico puede variar en tipo, capacidad o especificaciones.

Así, los tipos de sistemas fotovoltaicos se dividen en dos principales: los autónomos o aislados (off grid) y los interactivos con la red eléctrica o interconectados (on grid).

5.8.1 Sistemas off grid (aislado).

Sistema off grid: Un sistema fotovoltaico OFF GRID es aquel sistema aislado de la red

eléctrica que se auto abastece de energía y aprovecha la irradiación solar para generar la energía eléctrica necesaria que es suministrada a una instalación, que generalmente es una instalación eléctrica domiciliaria.

La función básica de un sistema fotovoltaico OFF GRID o autónomo o aislado es convertir la radiación solar en electricidad, esta función es realizada por el módulo fotovoltaico o panel solar. Los paneles solares más utilizados son los de tecnología monocristalina y policristalina, con uniones en serie de sus células y que pueden generar 12 V o 24 V, dependiendo de la cantidad de células que estén unidas, la corriente producida por el módulo fotovoltaico es corriente continua y la energía eléctrica generada es almacenada en baterías para que pueda utilizarse en cualquier momento y no solo cuando haya radiación solar.^[8]

Los sistemas fotovoltaicos OFF GRID se utilizan para proporcionar electricidad a los pobladores de las zonas rurales aisladas y localidades de frontera donde es muy difícil llegar con la red eléctrica del sistema interconectado nacional por lo costoso que resulta.

El objetivo de este sistema es asegurar la disponibilidad de electricidad durante el máximo tiempo posible, esto se logrará haciendo el dimensionamiento correcto de los componentes que lo constituyen.

Un sistema fotovoltaico OFF GRID está compuesto básicamente por los elementos siguientes: módulo fotovoltaico o panel solar fotovoltaico, regulador de carga, acumulador o batería y convertidor o inversor de carga.

5.8.2 Sistema on grid.

El Sistema o Conexión On Grid consiste en la producción de energía eléctrica a partir de Paneles Solares Fotovoltaicos los que a diferencia del sistema Off Grid si van conectados a una red pública, es decir, a una red de cualquier compañía eléctrica local.

En este sistema la energía para potenciar cualquier dispositivo electrónico proviene simultáneamente del sistema solar como de la red eléctrica, son ideales para instalaciones de ciudad, uso industrial o particular, centros comerciales, hospitales, instituciones educativas y cualquier otra edificación con un alto consumo diurno.

El sistema consiste en:

- Módulo Fotovoltaico o Paneles Solares: Este capta y transforma la radiación solar en energía eléctrica.
- Inversor de Corriente: El dispositivo convierte el voltaje de corriente directa generada por los módulos fotovoltaicos en voltaje de corriente alterna, la utilizada para el funcionamiento de cualquier dispositivo electrónico.
- Medidor Bidireccional: Permite contabilizar el total de energía que se ha generado por medio de los módulos fotovoltaicos.
- Consumo Eléctrico: Cualquier dispositivo ya puede ser utilizado gracias al alimento brindado por la energía solar.
- Conexión a Red Eléctrica: Es la conexión que permite la utilización tanto de los módulos fotovoltaicos como la suministrada por la red pública de la localidad en la que se habita.

Figura 12.

Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica (on grid).

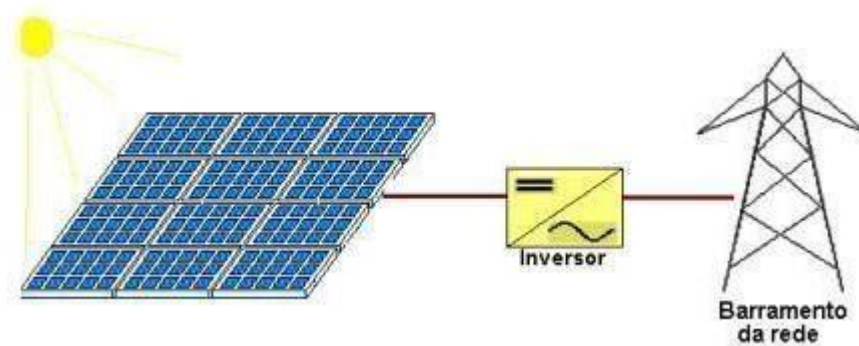
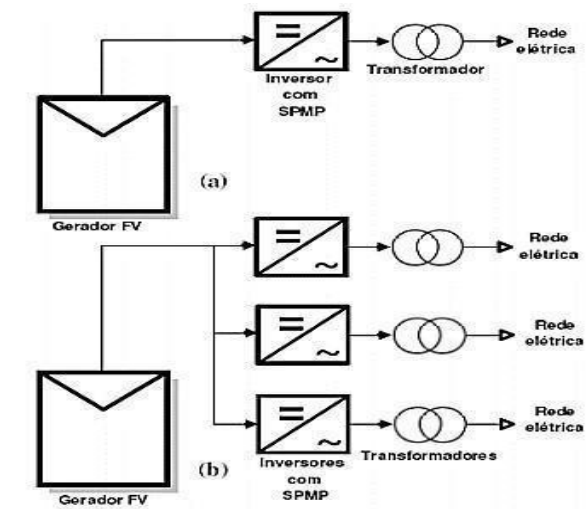


Figura 13.

Configuración de una central fotovoltaica con uno o más inversores.



5.9 Paneles fotovoltaicos.

El sistema de paneles fotovoltaicos está constituido por paneles o módulos que contienen las celdas basadas en semiconductores sensibles a la radiación solar encargadas de generar la tensión CC. La tecnología de estas células fotovoltaicas puede variar, destacando tecnologías como la de silicio policristalino, de película delgada, telurio de cadmio, cada una con sus rendimientos específicos.

Estas células se agrupan en el panel en una o varias series en paralelo para lograr la tensión y potencia deseada. En condiciones normales de funcionamiento cada célula fotovoltaica, al recibir la radiación del sol, genera una tensión que al sumarse con el resto de las células en serie proporciona la tensión de salida del panel que alimentará al inversor para generar la tensión alterna de salida.

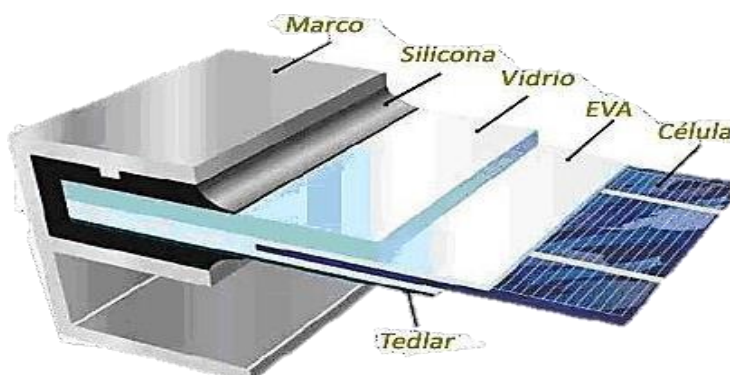
Una celda solar se construye a partir de una oblea delgada de silicio, fabricada a partir de la unión de dos semiconductores p – n, y que por medio del efecto fotoeléctrico convierte la radiación solar en energía eléctrica de corriente directa.^[9]

5.9.1 Estructura del panel fotovoltaico.

La forma más común de construir un panel FV es utilizando una estructura tipo “sándwich”, en la que ambos lados de las células FV quedan mecánicamente protegidos.

Figura 14.

Estructura tipo sándwich en un panel.



5.9.2 Celdas y su funcionamiento

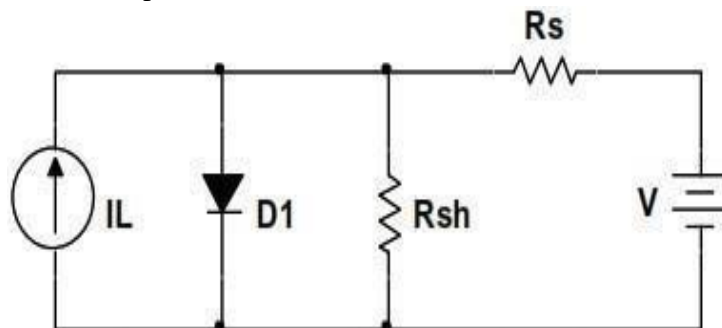
Una celda solar es un dispositivo que convierte la energía de la luz del sol en energía eléctrica en forma directa, sin la necesidad de piezas móviles o algún tipo de combustión.

El efecto fotovoltaico, es decir, convertir la luz solar en electricidad se produce en materiales conocidos como semiconductores, las cuales son materiales cuya conductividad puede ser modificada, y además generar una corriente eléctrica con cargas negativas, positivas o ambas.

Generalmente, el circuito eléctrico equivalente de una celda solar, consta de una fuente de corriente foto generada por acción de la radiación solar, un diodo, una resistencia en paralelo y una resistencia en serie (que representa a la resistencia interna del material al flujo de la corriente), tal como se representa en la Figura 14.

Figura 15.

Representación eléctrica de una celda solar.



Al incidir los rayos del sol en un semiconductor, algunos de los electrones de la banda de valencia absorben energía de los fotones y pasan a la banda de conducción donde pueden ser llevados fácilmente a un circuito externo generando por tanto una corriente electrónica.

Al dejar su lugar los electrones, provocan en el material “huecos”, considerados como una partícula de signo positivo, los cuales también se “mueven” como una corriente en sentido opuesto a la electrónica. Este movimiento se asemeja al desplazamiento de una burbuja en el agua. Para que los electrones y huecos generados por la luz solar no se recombinen dentro del semiconductor se debe contar con un campo eléctrico interno, en cuyo sentido se moverán los electrones, este campo eléctrico es producido en general por una juntura similar a la del diodo semiconductor.^[10]

5.9.2.1 Estructura de una celda solar.

Tal como se menciona en el apartado anterior, el elemento más importante en la estructura de una celda es el semiconductor por lo que se analizará en forma más detallada a continuación.

La estructura física, o arreglo atómico, de los semiconductores se puede dividir en tres grupos: Cristal simple, policristalino y amorfo.

La estructura de cristal simple se caracteriza por un ordenamiento periódico de átomos obteniendo una forma geométrica tridimensional de un paralelepípedo. Tal es el caso del Silicio el cual comparte cada uno de sus cuatro electrones de valencia en una unión covalente con

cada átomo vecino de silicio, el sólido, por lo tanto, consiste en una unidad básica de 5 átomos de silicio, el átomo original más los cuatro átomos con los que comparte sus electrones de valencia.

5.9.2.2 Características óptimas de funcionamiento.

En una celda solar los fotones son absorbidos por el lado de la región P, por lo que es muy importante ajustar esta capa a las características de los fotones entrantes para absorber tantos como sea posible, y así, liberar la mayor cantidad de electrones, otro desafío es guardar los electrones para que se reúnan con los huecos y se recombinen con ellos antes de que puedan escaparse de la celda.

Para hacer todo el esto, se diseña el material para liberar los electrones tan cerca como se pueda de la juntura, de modo que el campo eléctrico pueda ayudar a enviar los electrones libres a través de la capa de conducción (región N) y hacia fuera en el circuito eléctrico, optimizando todas estas características, mejoramos la eficiencia de conversión de la celda, que es cuánto de la energía de la luz es convertida en energía eléctrica por la celda.

En resumen, se persigue maximizar la absorción, reducir al mínimo la reflexión y la recombinación, y por tanto maximizar de esta manera la conducción.

5.9.2.3 Contactos eléctricos en una celda fotovoltaica.

Los contactos eléctricos son esenciales para una celda fotovoltaica ya que son el puente de conexión entre el material semiconductor y la carga eléctrica externa. Los contactos traseros de la celda, el lado que está lejos de los rayos solares, son relativamente simples.

Consisten generalmente en una capa de metal de aluminio o de molibdeno y cubre la cara posterior de la celda en forma completa, mientras que el contacto delantero, el que está en contacto con los rayos solares, es más complejo, cuando la luz del sol alumbra la celda, una corriente de electrones fluye toda sobre su superficie, si se unen contactos solamente en los bordes de ella, no trabajará bien debido a la gran resistencia eléctrica de la capa superior del semiconductor.

Solamente un número pequeño de electrones haría contacto, con el fin de recolectar más corriente, se debe poner contactos a través de la superficie entera de la celda. Esto se hace normalmente con una “rejilla” de tiras o “dedos” de metal.

Sin embargo, poner una rejilla grande, la cual es opaca, en la tapa de la celda daría sombra a las partes activas de ésta misma, y por ende reduciría la eficiencia de conversión en forma considerable. Para mejorar la eficiencia conversión, se debe reducir al mínimo estos efectos que ensombrecen la superficie de contacto con los rayos solares. Otro desafío en el diseño de las celdas es reducir al mínimo las pérdidas por resistencia eléctrica de la rejilla al entrar en contacto con al material de la misma.

Estas pérdidas se relacionan con la característica del material de la calda solar de oponerse al flujo de una corriente eléctrica, lo cual da lugar al calentamiento del material.

Tomando en cuenta lo anterior, el diseño de estas rejillas considera un enrejado con muchos “dedos” finos, dispuestos en cada parte de la superficie de la celda, los dedos de la rejilla deben tener baja resistencia para conducir bien, pero a la vez no bloquear mucha de la luz entrante.

Dichas rejillas pueden ser muy costosas. Una forma de fabricar estas rejillas es depositar vapores metálicos en una celda a través de una máscara o pintarlos vía un método de pantalla impresión. La fotolitografía es el método preferido para conseguir altas calidades, pero también es más costosa. Este proceso implica transferir una imagen vía fotografía, como una impresión moderna.

Una alternativa a los contactos metálicos de la rejilla es una capa transparente de óxido conductor (TCO) tal como el óxido de estaño (SnO_2). La ventaja de los TCOs es que son casi invisibles a la luz entrante, y forman un buen puente entre el material del semiconductor y el circuito eléctrico externo, pero la técnica de la construcción no es la única cosa que determina si una rejilla o un TCO metálicos son lo mejor para cierto diseño de la celda.

La resistencia de hoja del semiconductor es también una consideración importante, en el silicio cristalino, por ejemplo, el semiconductor lleva muy bien los electrones hasta los dedos de la rejilla metálica, debido a que el metal conduce mejor electricidad que un TCO. El silicio amorfo, por otra parte, conduce pobremente en dirección horizontal, por lo tanto, beneficia tener un TCO sobre su superficie entera.

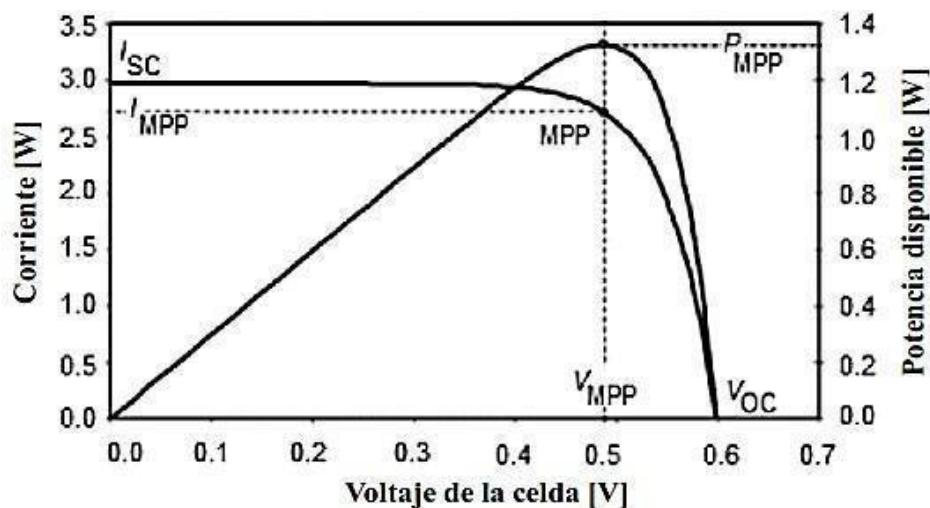
5.9.2.4 Modelos matemáticos de las celdas.

Las características típicas de una celda solar suelen representarse por medio de gráficas: voltaje – corriente y voltaje – potencia. En la Figura 15, se pueden observar los puntos

más representativos de las curvas, tales como: la corriente de corto circuito (I_{SC}), el voltaje de circuito abierto (V_{OC}), el punto de máxima potencia (MPP), la corriente en el punto de máxima potencia (I_{MPP}), el voltaje en el punto de máxima potencia (V_{MPP}) y la potencia en el punto de máxima potencia (P_{MPP}). [11]

Figura 16.

Curva voltaje- corriente- potencia de una celda solar.



El modelo matemático que describe la curva voltaje-corriente en una celda solar, generalmente se describe por medio de la siguiente ecuación:

$$I = I_L - I_o \left[\exp\left(\frac{q(V + IR_s)}{a}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{SH}} \quad (1)$$

Ec. 1. Modelo matemático de la curva corriente-voltaje.

Donde, I_L es la corriente foto generada, I_o es la corriente de saturación inversa, R_s es la resistencia en serie, R_{SH} es la resistencia en paralelo, V es el voltaje, q es la carga de un electrón (1.6×10^{-19} C), y a es un parámetro dado por la ecuación:

$$a = kT_C A$$

Ec. 2: Ecuación que genera el parámetro a de la Ec. 1.

Siendo k la constante de Boltzmann (1.38×10^{-23} J/K), T_C es la temperatura de la celda y A es el factor de idealidad. El factor de idealidad permite distinguir el comportamiento

entre una celda de silicio y una de germanio, dependiendo así de la tecnología de fabricación de la celda solar.

La corriente foto generada varía en función de la radiación solar y de la temperatura de trabajo en la celda, y se describe por:

$$I_L = \frac{S}{S_{REF}} [I_{L,REF} + \mu_{ISC} (T_C - T_{C,REF})]$$

Ec. 3: La corriente foto generada en función de la radiación solar y de la temperatura de trabajo en la celda.

Donde, S es la irradiación solar, S_{REF} es la irradiación solar en condiciones de referencia (1000 W/m^2), $I_{L, REF}$ es la corriente foto generada en condiciones de referencia y se puede tomar como la corriente de cortocircuito ($I_{L, REF} = I_{SC}$), y μ_{ISC} es el coeficiente de cortocircuito, el cual generalmente este dado por el fabricante.

Generalmente, la eficiencia de una celda solar no se afecta con la variación en la resistencia en paralelo (debida a impurezas en el Silicio), por lo que se puede asumir que $R_{SH} = \infty$. Por otro lado, una pequeña variación en la resistencia serie afecta significativamente el comportamiento y eficiencia de una celda solar.

Ya que la resistencia en paralelo no representa un porcentaje significativo de pérdidas, se simplifica el modelo matemático planteado en la ecuación 1.

Entonces, el valor de $(V + IR_S / R_{SH})$ puede ser igualado a cero y así la ecuación se simplifica como sigue:

$$I = I_L - I_o \left[\exp\left(\frac{q(V + IR_S)}{a}\right) - 1 \right]$$

Ec. 4: Simplificación del modelo matemático planteado en la ecuación 1.

La relación entre la tensión y la corriente proporcionada por la célula viene dada por su curva característica I/V.

En el caso de que la célula esté sometida a radiación solar el valor de $I \times V$ será mayor que cero, es decir se generará electricidad.

Figura 17.

Celda irradiada por el sol.

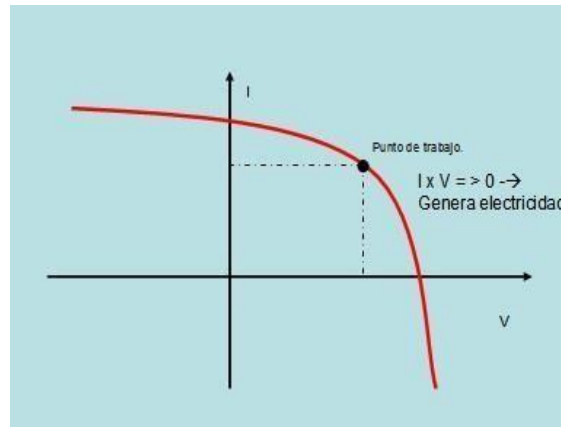
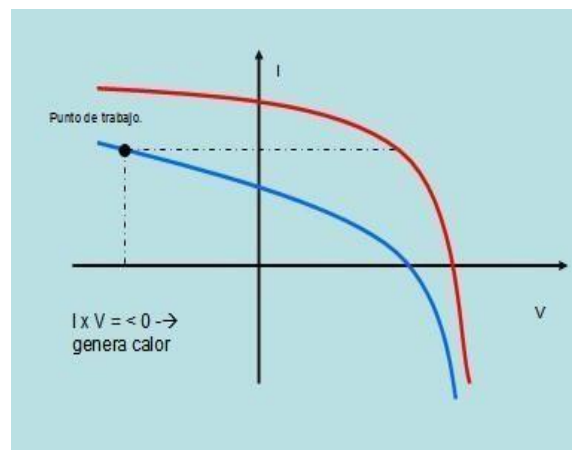


Figura 18.

Celda no irradiada por el sol.



Sin embargo, cuando una celda está averiada o no genera energía porque no recibe la radiación del sol, se puede polarizar de forma inversa pasando a comportarse como una carga en vez de un generador, lo cual puede implicar una alta disipación de calor.

5.9.3 Clasificación de paneles eléctricos fotovoltaicos.

Existen diferentes tipos de paneles solares en función de los materiales empleados, los métodos de fabricación que se empleen y la forma final.

A continuación, se describen los materiales que pueden formar las células solares:

5.9.3.1 Silicio Puro monocristalino

Basados en secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado en una sola pieza, en laboratorio se han alcanzado rendimientos máximos del 24,7% para este tipo de paneles siendo en los comercializados del 16%.

Figura 19.

Panel fotovoltaico compuesto por células de silicio monocristalino.



5.9.3.2 Silicio puro policristalino

Los materiales son semejantes a los del tipo anterior, aunque en este caso el proceso de cristalización del silicio es diferente, los paneles policristalinos se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales.

Figura 20.

Panel fotovoltaico compuesto por células de Silicio puro policristalino



Son visualmente muy reconocibles por presentar su superficie un aspecto granulado, se obtiene con ellos un rendimiento inferior que con los monocristalinos (en laboratorio del 19.8% y en los módulos comerciales del 14).

6 Diseño Metodológico de la investigación.

6.1 Diseño de la Investigación.

Dado que el objetivo de la investigación será Elaborar una guía metodológica para la implementación de un sistema de gasificación para la generación de electricidad junto a un sistema fotovoltaico off grid con fines académicos en el laboratorio de Energías Renovables de la Facultad de Electrotecnia y Computación, se recurrió a un **diseño experimental**, la manipulación y medición de las variables, será parte fundamental de este proyecto, por lo tanto, el diseño de investigación será **experimental de tipo puro** pues es el que mejor se adapta a las necesidades del estudio.

Enfoque de la investigación.

El enfoque de investigación es la forma en la que se va a realizar la aproximación a el objeto o fenómeno de estudio, este puede ser cualitativo, cuantitativo o mixto. El presente trabajo será diseñado bajo el **planteamiento metodológico del enfoque mixto**, pues este es el que mejor se adapta a las características y necesidades de la investigación. Este enfoque utiliza técnicas e instrumentos tanto cuantitativos como cualitativos.

6.2 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

La elección de las técnicas e instrumentos para la recolección de datos indica como se va a obtener la información en el trabajo investigativo, los procedimientos que se van a utilizar y a través de que se va a obtener la información.

Al definir un enfoque de investigación de tipo mixto, **la investigación documental** será la base teórica del proyecto de investigación, el método que se va a utilizar será la síntesis bibliográfica, esta síntesis se realizará mediante la búsqueda de información en fuentes documentales, la técnica será la sistematización bibliográfica, a través de esta técnica se va a analizar la información obtenida.

La investigación de campo será otra base fundamental para el proyecto de investigación, siendo el enfoque de investigación un enfoque mixto, se utilizará el método de síntesis de observación con técnicas como la observación ordinaria y/o participante. Este método de recolección de datos permitirá reunir información a partir de los criterios fijados por el equipo de trabajo en el momento que se esté observando el objeto de estudio, que en este caso serán los sistemas de gasificación y los fotovoltaic

7 Guías metodológicas

Se llevaron a cabo unas guías practica-teóricas para que los estudiantes además de conocer las maneras en que se lleva a cabo la generación de energía eléctrica también puedan conocer el funcionamiento de los equipos a pequeña escala, es por tal razón que se trabajó un sistema de generación híbrido para que los estudiantes puedan abarcar más de un tipo de generación eléctrica.

7.1 Guía de laboratorio del sistema fotovoltaico off grid; conexión

serie.Desarrollo de la practica:

En la siguiente guía se llevará a cabo la instalación y conexión de los paneles solares en conexión serie, el laboratorio cuenta con 2 paneles solares los cuales en la siguiente practica se conectarán en serie.

Los paneles que se encuentran el laboratorio tienen la siguiente característica de placa:

Tabla 2.

Valores de placa del panel fotovoltaico.

Potencia máxima (P_{max})	250W
Voltaje a plena carga (V_{mp})	30.3V
Corriente a plena carga (I_{mp})	8.27A
Voltaje en vacío (V_{oc})	38.0V
Corriente en vacío (I_{sc})	8.79A

Conociendo los valores de placa de los paneles se deberá tomar en cuenta siempre que los niveles de voltaje y corriente sean los mismo, porque si se conectan paneles de diferentes niveles de voltaje/corriente pueda provocar que el panel de mayor impedancia, limite la corriente máxima del panel que tiene menor potencial. Como resultado se tendrá un “cuello de botella” que limitará la instalación.

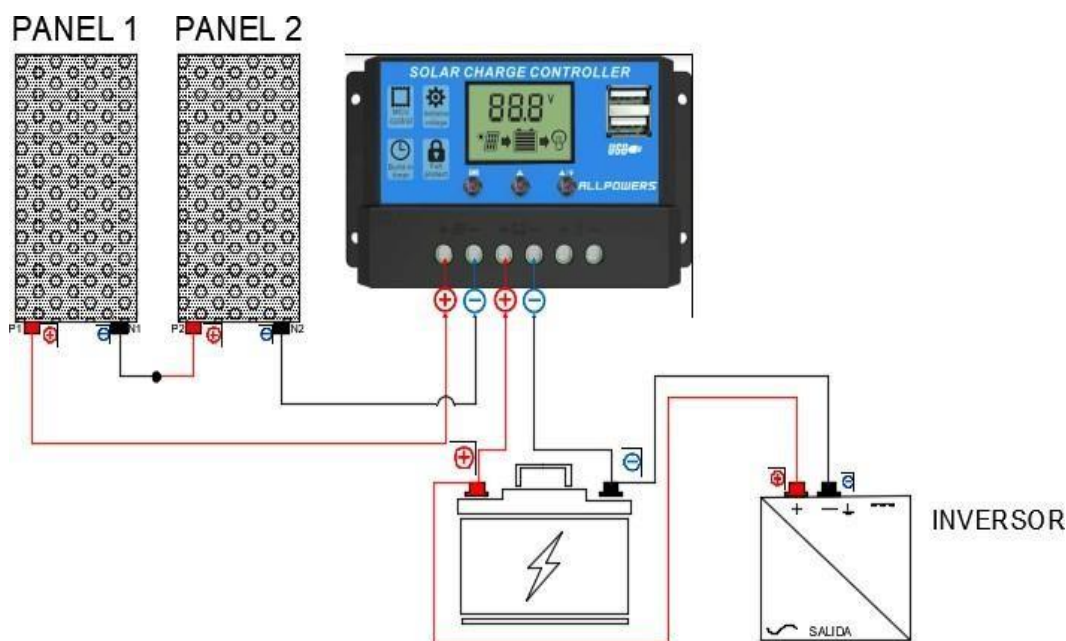
El laboratorio se realizará en un lugar techado donde no hay luz del sol para simular la luz del sol se usarán 4 luminarias que harán que los paneles entregan un nivel de voltaje “x” el cual deberá ser medido, y se observará la variación del potencial eléctrico entregado por los paneles en función de la cantidad de luminarias que estén en funcionamiento esto

para simular si hay sombra un día nublado donde las condiciones climáticas no son las más optimas.

Teniendo esto en cuenta se procederá a hacer la conexión como se muestra en el diagrama:

Figura 21.

Conexión en serie de paneles fotovoltaicos



Se tomarán mediciones con todas las luminarias encendidas, posteriormente se desconectarán de manera progresiva las luminarias y se tomarán mediciones de la variación del potencial eléctrico entregado por los paneles.

Actividad previa

- Identificar la polaridad de cada panel.
- Conectar los paneles en serie según el diagrama de conexión.

Pruebas a realizar (conexión serie)

Luminarias a 1.5 metros de distancia con respecto a los paneles.

Luminarias encendidas	Salida de Voltaje en paneles
4	
3	
2	
1	

Luminarias a 1 metro de distancia con respecto a los paneles.

Luminarias encendidas	Salida de Voltaje en paneles
4	
3	
2	
1	

Luminarias a 0.5 metros de distancia con respecto a los paneles.

Luminarias encendidas	Salida de Voltaje en paneles
4	
3	
2	
1	

7.2 Guia de laboratorio del sistema fotovoltaico off grid; conexión paralelo

Desarrollo de la práctica:

En la siguiente guía se llevará a cabo la instalación y conexión de los paneles solares en conexión paralelo, el laboratorio cuenta con 2 paneles solares los cuales en la siguiente practica se conectarán en paralelo.

Los paneles que se encuentran el laboratorio tienen la siguiente característica de placa:

Tabla 2.

Valores de placa del panel fotovoltaico.

Potencia máxima (P_{max})	250W
Voltaje a plena carga (V_{mp})	30.3V
Corriente a plena carga (I_{mp})	8.27A
Voltaje en vacío (V_{oc})	38.0V
Corriente en vacío (I_{sc})	8.79A

Si se tiene 2 paneles solares de la misma tensión, pero de diferente potencia, no hay problema se pueden conectar sin ningún problema en paralelo.

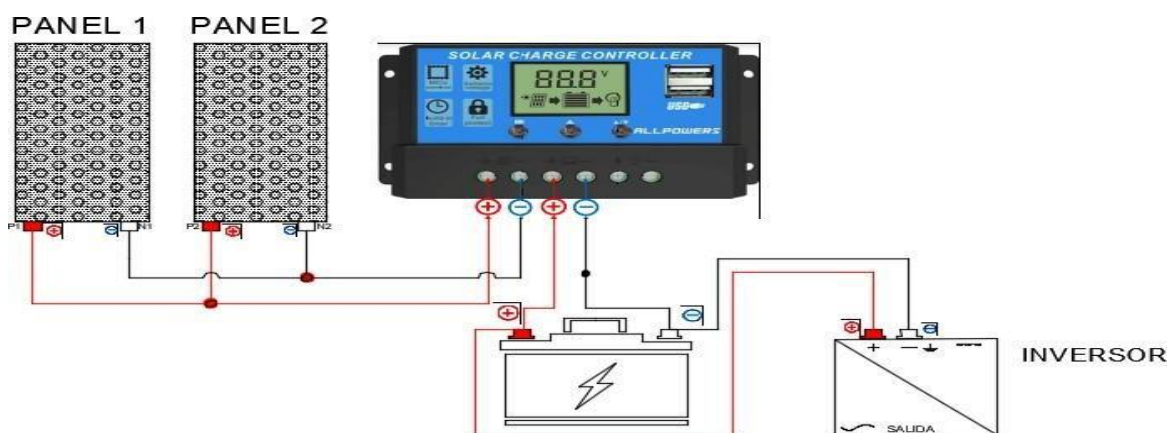
En cambio, si los dos paneles solares son tanto de potencia como de tensión distinta, entonces no es posible la conexión en paralelo, pues el panel con la tensión más baja iniciaría a absorber corriente en lugar de producirla.

Es posible conectar varios paneles solares mediante este método, pero se debe prestar suma atención en los valores de la corriente, ya que si la corriente de salida es superior a los 70A tanto el sistema como los paneles pueden sufrir daños y problemas ligados a la gestión de la corriente, para evitar este problema se suelen conectar los paneles en serie-paralelo para incrementar tanto la tensión como la corriente al mismo tiempo.

Teniendo esto en cuenta se procederá a hacer la conexión como se muestra en el diagrama:

Figura 22.

Conexión en paralelo de paneles fotovoltaicos



Se tomarán mediciones con todas las luminarias encendidas, posteriormente se desconectarán de manera progresiva las luminarias y se tomarán mediciones de la variación del potencial eléctrico entregado por los paneles.

Actividad previa

- Identificar la polaridad de cada panel.
- Conectar los paneles en paralelo según el diagrama de conexión.

Pruebas a realizar (conexión paralela)

Luminarias a 1.5 metros de distancia con respecto a los paneles.

Luminarias encendidas	Salida de Voltaje en paneles
4	
3	
2	
1	

Luminarias a 1 metro de distancia con respecto a los paneles.

Luminarias encendidas	Salida de Voltaje en paneles
4	
3	
2	
1	

Luminarias a 0.5 metros de distancia con respecto a los paneles.

Luminarias encendidas	Salida de Voltaje en paneles
4	
3	
2	
1	

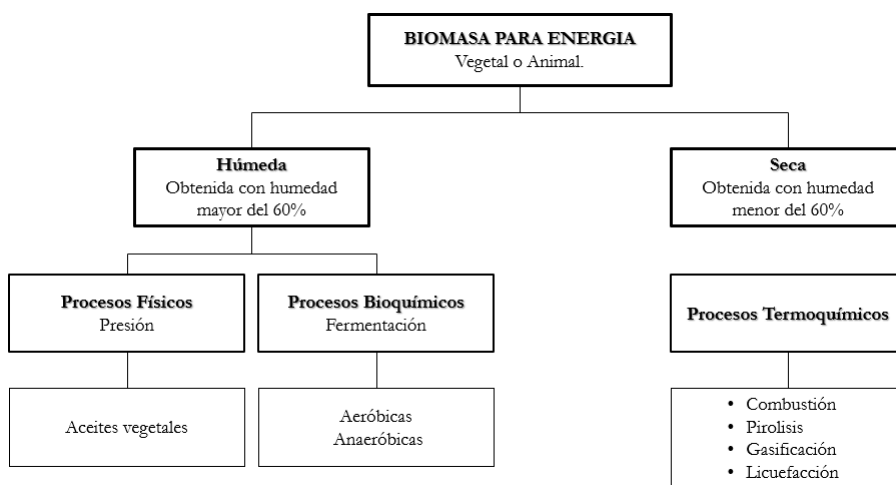
7.3 Guía de laboratorio del sistema de gasificación para el tratamiento de biomasa.

7.3.1 Biomasa y la generación de energía.

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. La biomasa puede ser obtenida a partir de cultivos especialmente destinados a la producción de energía, como algunos cultivos de caña de azúcar, cosechando algunos productos forestales como por ejemplo madera, o a partir de residuos orgánicos, sean estos provenientes de la agro-explotación animal o vegetal o bien de vertederos de desechos en las ciudades. En cualquier caso, sea cual sea la fuente, la biomasa exige ser cosechada o recolectada, almacenada y posteriormente transportada a la instalación donde se pretende hacer uso de ella antes de ser transformada en bioenergía a partir del uso de una tecnología adecuada. Desde el punto de vista energético resulta conveniente dividir la conversión de la biomasa en dos grandes grupos:

Figura 1

Procesos de conversión de biomasa en energía



7.3.2 Tipos de biomasa

La biomasa es toda materia orgánica generada en un proceso biológico, provocado o espontáneo, utilizable como fuente de energía. En general hablamos de biomasa como materia viva, de la cual podemos aprovechar su potencial energético para la generación de energía o combustibles aprovechables por el hombre.

La biomasa, principalmente en forma de madera, es la fuente de energía más antigua usada por la humanidad. Tradicionalmente la energía de la biomasa se ha usado a través de combustión directa.

En la siguiente tabla se muestran los valores caloríficos bruto de residuos agrícolas y forestales, cultivos energéticos.

Tabla 1.

Valores caloríficos brutos de varias sustancias biomásicas.

Tipos de Biomasa		Valor calorífico bruto (MJ/kg)
Madera	Corteza de pino	20.95
	Astilla de madera	20.89
	Desechos industriales de madera	19.00
Subproductos agrícolas	Aserrín	19.34
	Paja de trigo	18.94
	Cáscara de coco	18.60
	Bagazo	18.09
	Caña	18.06
	Olote de maíz	17.72
	Paga de arroz	15.61
	Cascarilla de arroz	15.58

7.3.3 Teoría de la gasificación

La gasificación es un proceso por el cual la biomasa es transformada en un gas combustible por descomposición térmica y reacciones químicas a alta temperatura en presencia de un agente gasificante. Se diferencia por tanto de la combustión, en el que el gas final obtenido en este último no es combustible. Además del proceso de combustión para la generación de electricidad, puede emplearse otra reacción química, la gasificación; ésta a diferencia de la combustión ocurre con defecto de aire y los gases producto de este proceso pueden utilizarse para generar electricidad en turbinas de gas o motores de combustión interna. Acoplados a generadores eléctricos.

7.3.4 Cuestionario

1. ¿Qué es la gasificación por biomasa y cómo funciona el proceso de gasificación?

La gasificación por biomasa es un proceso que convierte material orgánico, como madera, residuos agrícolas, cáscaras de nueces, residuos forestales y otros tipos de biomasa, en un gas combustible llamado gas de síntesis o gas de gasificación. Este gas puede ser utilizado para generar electricidad, producir calor, o incluso como materia prima para la síntesis de productos químicos y biocombustibles.

El proceso de gasificación implica la reacción controlada de la biomasa en presencia de un agente gasificante, que puede ser aire, vapor de agua, oxígeno puro o una mezcla de estos. El objetivo es crear un ambiente donde la biomasa se descomponga térmicamente en sus componentes básicos, como carbono, hidrógeno y monóxido de carbono, sin llegar a la completa combustión. Esto se logra ajustando cuidadosamente la cantidad de oxígeno disponible para evitar la formación de dióxido de carbono (CO_2) y permitir la formación de monóxido de carbono (CO) y otros componentes gaseosos.

2. ¿Cuáles son los diferentes tipos de biomasa que se pueden utilizar en la gasificación?

Tipo natural: Se obtienen durante la producción de alimentos, cultivos y explotación forestal.

Tipo residual: Se generan durante el proceso industrial de transformación de los alimentos de cosecha en alimentos procesados

Tipo producida: 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.

3. ¿Qué es un gasificador ascendente y en qué difiere de otros tipos de gasificadores?

Un gasificador ascendente es un tipo de reactor utilizado en el proceso de gasificación, que convierte materiales carbonosos como biomasa, carbón o residuos en un gas combustible llamado gas de síntesis.

Los gasificadores ascendentes se diferencian de otros tipos de gasificadores, como los gasificadores descendentes y los gasificadores de lecho fijo, en función de la dirección del flujo de materiales y gases, así como en las características de operación.

4. ¿Cómo funciona un gasificador de flujo ascendente y qué ventajas tiene sobre otros tipos de gasificadores?

Un gasificador de flujo ascendente opera introduciendo material de alimentación, como biomasa, desde la parte superior del reactor, junto con un agente gasificante como aire una transferencia eficiente de calor y reacciones químicas. A medida que el material asciende, se descompone térmicamente y se somete a procesos de secado, pirólisis y reacciones de gasificación en condiciones de alta temperatura y falta de oxígeno. El resultado es la producción de un gas de síntesis compuesto principalmente por monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H₂), que se recoge en la parte superior del reactor para su posterior uso o procesamiento. Algunas de las ventajas sobre otros gasificadores son las siguientes:

Alta eficiencia en la transferencia de calor y masa.

Mayor mezcla entre materiales y agentes gasificantes.

Menor formación de alquitrán.

5. ¿Cuáles son los beneficios ambientales y económicos de la gasificación por biomasa?

Desde el punto de vista ambiental, este proceso contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero al producir un gas de síntesis con una menor cantidad de dióxido de carbono (CO₂) en comparación con la combustión directa de biomasa.

En términos económicos, la gasificación por biomasa puede generar electricidad y calor, lo que diversifica la matriz energética y reduce la dependencia de los combustibles fósiles. También puede impulsar el desarrollo rural al aprovechar los recursos locales de biomasa, generando empleos en la recolección, procesamiento y operación de instalaciones de gasificación.

6. ¿Cuáles son las medidas de seguridad que deben tomarse al operar un sistema de gasificación?

La operación de un sistema de gasificación conlleva riesgos inherentes debido a las altas temperaturas, la presencia de gases inflamables y otros factores. Por lo tanto, se deben tomar diversas medidas de seguridad para garantizar la protección de los operadores, el equipo y el entorno. Algunas de las medidas de seguridad clave incluyen:

Capacitación a los operadores

Uso de equipo de protección personal

Ventilación adecuada

Establecer un procedimiento de arranque detallado

7. ¿Cómo se comparan la gasificación por biomasa con otras tecnologías de energía renovable como la energía eólica y la energía solar en términos de costo y eficiencia energética?

La gasificación por biomasa, la energía eólica y la energía solar son tecnologías de energía renovable, pero difieren en términos de costo y eficiencia energética.

Gasificación por biomasa:

Costo: La inversión inicial para sistemas de gasificación por biomasa puede ser significativa debido a la complejidad de la tecnología y los equipos necesarios. También hay costos asociados con la recolección y preparación de la biomasa.

Eficiencia energética: La eficiencia de conversión de biomasa en gas de síntesis puede variar, pero generalmente es menor en comparación con otras tecnologías renovables más maduras como la energía eólica y solar.

Energía eólica:

Costo: Las turbinas eólicas tienen costos iniciales relativamente altos, pero los costos operativos y de mantenimiento son más bajos en comparación con tecnologías de generación convencionales. Con avances tecnológicos y la madurez de la industria, los costos de la energía eólica han disminuido significativamente en los últimos años.

Eficiencia energética: La eficiencia de conversión de energía cinética del viento en electricidad es relativamente alta en comparación con otras fuentes de energía renovable. Sin embargo, la producción de energía eólica puede verse afectada por la variabilidad del viento.

Energía solar:

Costo: Los sistemas solares fotovoltaicos (paneles solares) tienen costos iniciales que están disminuyendo a medida que la tecnología mejora y se vuelve más asequible. La energía solar también tiene bajos costos operativos y de mantenimiento.

Eficiencia energética: La eficiencia de conversión de la radiación solar en electricidad ha mejorado con el tiempo y varía según la tecnología utilizada. Los sistemas solares fotovoltaicos pueden operar de manera efectiva en diversas condiciones climáticas, aunque la disponibilidad de luz solar directa es un factor clave.

En términos generales, la energía eólica y solar tienden a tener costos operativos y de mantenimiento más bajos y pueden ser más eficientes en términos de conversión de recursos naturales en energía. Sin embargo, la gasificación por biomasa puede ser valiosa en situaciones donde se dispone de abundante biomasa y donde la generación de calor y energía a partir de residuos orgánicos es esencial. La elección entre estas tecnologías dependerá de factores como la disponibilidad de recursos, las condiciones geográficas y las necesidades energéticas locales.

8. ¿Qué es un separador ciclónico y cómo funciona en un sistema de gasificación de biomasa?

Un separador ciclónico es un dispositivo utilizado para separar partículas sólidas o líquidas del flujo de gas mediante la fuerza centrífuga generada por un flujo en movimiento. En un sistema de

gasificación de biomasa, un separador ciclónico se utiliza para eliminar las partículas sólidas del gas de síntesis producido durante el proceso de gasificación. Esto es esencial para garantizar la calidad y la pureza del gas antes de su uso o procesamiento posterior.

El gas de síntesis que contiene partículas sólidas ingresa al separador ciclónico a través de una entrada en la parte lateral o superior del dispositivo. Una vez dentro del separador, el gas y las partículas entran en una cámara cilíndrica que está diseñada para crear una corriente en espiral. Esta corriente en espiral hace que las partículas sólidas sean empujadas hacia las paredes del separador debido a la fuerza centrífuga, a medida que las partículas sólidas son empujadas hacia las paredes del separador, pierden velocidad y caen por gravedad hacia la parte inferior del dispositivo. Después de que las partículas sólidas son separadas y acumuladas en la parte inferior, el gas purificado y limpio se dirige hacia la salida superior del separador ciclónico.

7.4 Identificación de los elementos que conforman el gasificador y puesta en marcha del equipo.

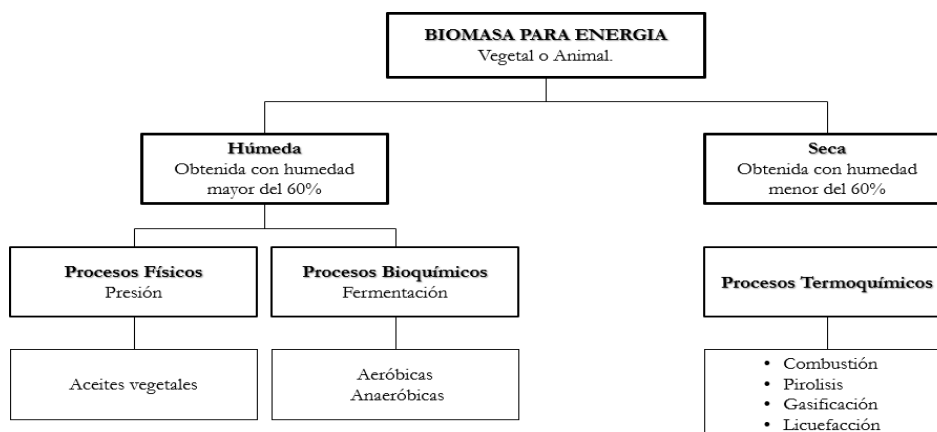
Biomasa y la generación de energía.

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. La biomasa puede ser obtenida a partir de cultivos especialmente destinados a la producción de energía, como algunos cultivos de caña de azúcar, cosechando algunos productos forestales como por ejemplo madera, o a partir de residuos orgánicos, sean estos provenientes de la agro-explotación animal o vegetal o bien de vertederos de desechos en las ciudades. En cualquier caso, sea cual sea la fuente, la biomasa exige ser cosechada o recolectada, almacenada y posteriormente transportada a la instalación donde se pretende hacer uso de ella antes de ser transformada en bioenergía a partir del uso de una tecnología adecuada.

Desde el punto de vista energético resulta conveniente dividir la conversión de la biomasa en dos grandes grupos:

Figura 23.

Procesos de conversión de biomasa en energía.



7.4.1 Tipos de biomasa

La biomasa es toda materia orgánica generada en un proceso biológico, provocado o espontáneo, utilizable como fuente de energía. En general hablamos de biomasa como materia viva, de la cual podemos aprovechar su potencial energético para la generación de energía o combustibles aprovechables por el hombre.

La biomasa, principalmente en forma de madera, es la fuente de energía más antigua usada por la humanidad. Tradicionalmente la energía de la biomasa se ha usado a través de combustión directa.

En la siguiente tabla se muestran los valores caloríficos bruto de residuos agrícolas y forestales, cultivos energéticos.

Tabla 1.

Valores caloríficos brutos de varias sustancias biomásicas.

Tipos de Biomasa		Valor calorífico bruto (MJ/kg)
Madera	Corteza de pino	20.95
	Astilla de madera	20.89
	Desechos industriales de madera	19.00
Subproductos agrícolas	Aserrín	19.34
	Paja de trigo	18.94
	Cáscara de coco	18.60
	Bagazo	18.09
	Caña	18.06
	Olote de maíz	17.72
	Paga de arroz	15.61

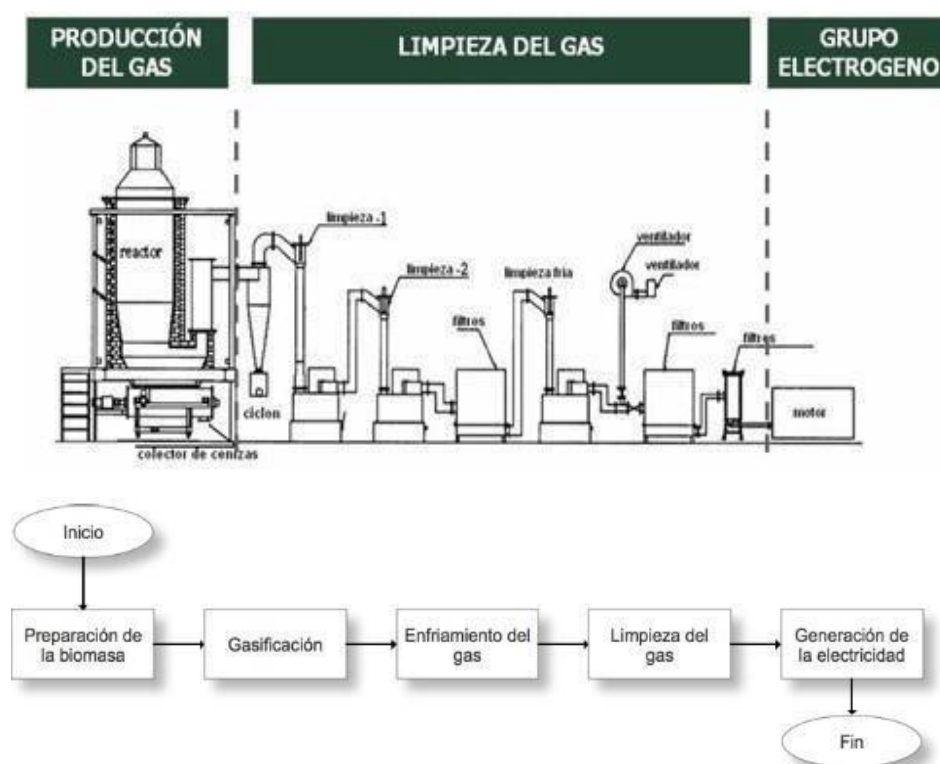
	Cascarilla de arroz	15.58
--	---------------------	-------

7.4.2 Teoría de la gasificación

La gasificación es un proceso por el cual la biomasa es transformada en un gas combustible por descomposición térmica y reacciones químicas a alta temperatura en presencia de un agente gasificante. Se diferencia por tanto de la combustión, en el que el gas final obtenido en este último no es combustible. Además del proceso de combustión para la generación de electricidad, puede emplearse otra reacción química, la gasificación; ésta a diferencia de la combustión ocurre con defecto de aire y los gases producto de este proceso pueden utilizarse para generar electricidad en turbinas de gas o motores de combustión interna. Acoplados a generadores eléctricos.

Figura 24.

Diagrama de instalación de un gasificador con sus etapas de proceso de gasificación.



7.4.3 **Desarrollo de la práctica:**

La siguiente guía se lleva a cabo en una serie de pasos sencillos con el fin de que los estudiantes se familiaricen con el equipo, la primera serie de pasos va dirigida a la limpieza general del equipo, esto con el fin de evitar que los estudiantes inhalen polvillo o que los ojos entren en contacto con el polvillo mismo al momento de comprobar el buen funcionamiento del ventilador, soplador e inspección de buen estado de cada una de las válvulas. Los siguientes pasos son para verificar que el filtro de secado tenga material en su interior y los pasos finales son la puesta en marcha del equipo.

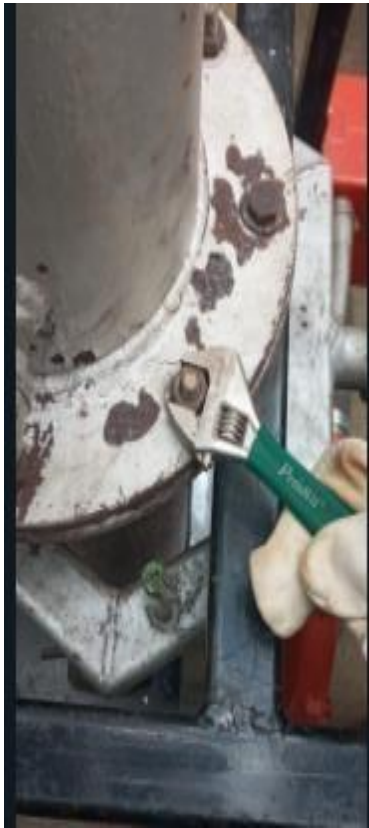
Puntos claves:

El sensor detector de gas funciona de la siguiente manera:

- Al momento de encender el equipo esta toma un tiempo de 30 segundos para una auto calibración.
- Al entrar en contacto la punta del sensor con cierta cantidad de gas este activará una alarma sonora la cual indica que la cantidad de gas en ese punto es altamente inflamable por lo tanto el rango de porcentaje LEL (Límite Inferior de Explosividad) es el adecuado para que agregando una fuente de calor este gas se encienda produciendo una llama.

Limpieza general

Se recomienda usar lentes para realizar esta tarea.

• Con dos llaves fijas número 17 o dos llaves inglesas retirar pernos del reactor • Abrir y realizar limpieza dentro del reactor para eliminar residuos de cenizas propiamente en el reactor y en las entradas de aire • Verificación de buen posicionamiento de fijador de materia prima.		
Abrir el sistema de cenizas del reactor girando la tapa en sentido antihorario y eliminar todo el material desechable.		

Abrir el sistema colector de sólidos girando las tapas en sentido horario viendo desde un punto de vista de planta y eliminar material agrupado en ese punto.	
--	--

Comprobación de buen estado del ventilador, soplador, válvulas.

Se debe conectar el soplador a una fuente de energía de 120 VAC y abrir al menos una de las válvulas para que el aire tenga una salida.	
Se debe conectar el ventilador de enfriamiento a una fuente de alimentación de 120 VAC y ver que este funcione correctamente	

Filtro de secado

Abrir la tapa del filtro de secado e inspeccionar que el filtro posea material en su interior para brindar un óptimo funcionamiento de este.	
---	--

Puesta en Marcha:

1. Abrir el reactor por la tapa superior
2. Rellenar con materia prima hasta donde indica la señal en forma de semicircunferencia.
3. Agregar un poco de gas, encender y dejar la tapa superior semiabierta.





Abrir un 50% la llave de alimentación de aire proveniente del soplador que va hacia el reactor, esto con la finalidad de que mantenga encendida la materia prima en el reactor.

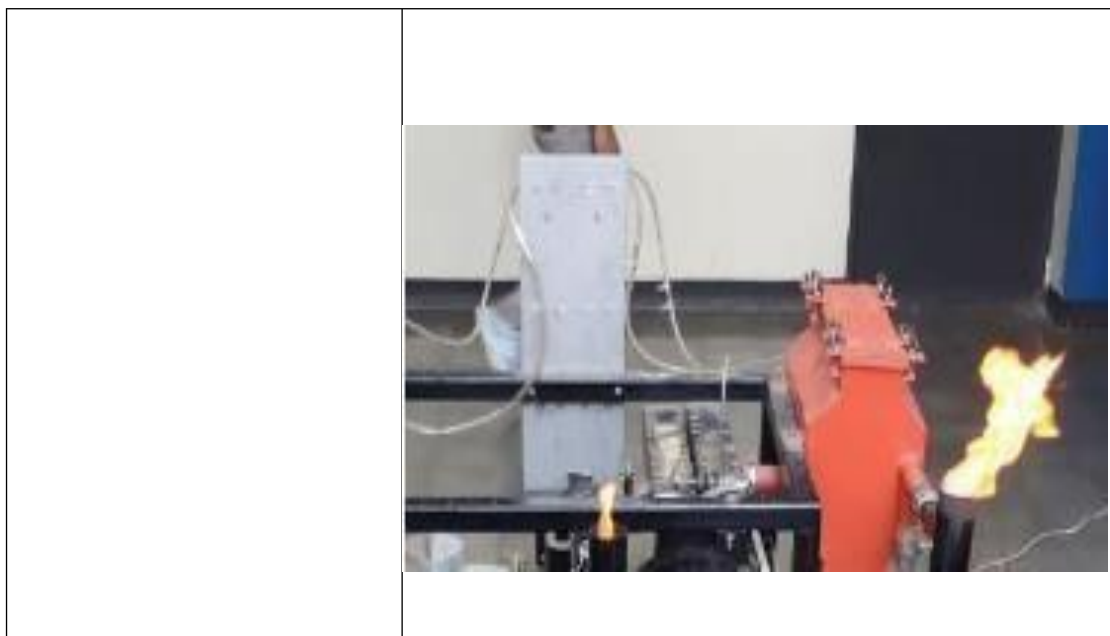


Abrir un poco las 2 válvulas provenientes del soplador que se dirigen hacia las salidas de gases. Verificar en la salida que el flujo de aire sea mínimo.



1. Encender ventilador de enfriamiento del sistema de gasificación y abrir válvulas de salidas que se encuentran en el sistema de enfriamiento y el filtro de secado.
2. Agregar un poco más de madera y abrir válvula de aire del reactor al 100%.
3. Con ayuda de cámara termográfica verificar que la temperatura en el reactor sea mayor a 330 grados Celsius.
4. Tomar medidas de porcentaje LEL (Límite Inferior de Explosividad) y si se encuentra en el rango de explosividad encender el gas a las salidas.





Preguntas para evaluación de aprendizaje

1. ¿Cómo afecta la cantidad de oxígeno suministrado al gasificador a la temperatura del proceso de gasificación y, por lo tanto, a la producción de gas y la eficiencia energética?

Si se suministra una cantidad suficiente de oxígeno al gasificador favorece una reacción más completa de la biomasa o el material de alimentación. La combustión y la descomposición térmica se vuelven más intensas, lo que aumenta la temperatura en el interior del gasificador. Una mayor cantidad de oxígeno puede favorecer la conversión de material de alimentación en gases útiles y una mayor eficiencia energética. Con una cantidad óptima de oxígeno, las reacciones de gasificación ocurren de manera eficiente, lo que resulta un mayor aprovechamiento de energía lo cual se convierte en gas de síntesis, lo que aumenta el rendimiento del proceso. Si la cantidad de oxígeno es limitada, la temperatura en el gasificador puede disminuir, ya que las reacciones de gasificación serán menos intensas y eficientes. Con un suministro insuficiente de oxígeno, la producción de CH_4 y H_2 se reduce y pueden formarse más subproductos como alquitrán, lo que afecta negativamente la calidad del gas de síntesis, las reacciones incompletas o no deseables pueden disminuir la eficiencia energética, ya que parte del material no se convierte en gas útil.

2. ¿Cómo afecta el contenido de humedad y la densidad del combustible de biomasa a la generación de calor y la ignición en el gasificador de biomasa?

La presencia de un alto contenido de humedad en la biomasa puede dificultar la gasificación eficiente. La energía disponible se destina a evaporar el agua en lugar de calentar la biomasa. Esto puede reducir la temperatura en el gasificador y afectar la eficiencia general del proceso. Los combustibles de biomasa con alta densidad contienen una mayor cantidad de masa en un volumen dado. Esto significa que hay más material disponible para la reacción de gasificación en una determinada área del gasificador.

3. ¿Cómo se puede mejorar la eficiencia del proceso de gasificación de biomasa utilizando diferentes tipos de catalizadores y qué impacto tienen estos en la química de la reacción?

La eficiencia del proceso de gasificación de biomasa se puede mejorar utilizando diferentes tipos de catalizadores para facilitar y acelerar las reacciones químicas involucradas en la conversión de biomasa en gas de síntesis. Los catalizadores son sustancias que aumentan la velocidad de las reacciones químicas sin ser consumidas en el proceso. Su impacto en la química de la reacción puede ser significativo.

4. ¿Cómo afecta la velocidad del flujo de aire en el gasificador de biomasa a la mezcla adecuada de oxígeno y combustible, y cómo se puede controlar para mejorar la eficiencia del proceso de gasificación?

Un flujo de aire insuficiente puede resultar en una mezcla deficiente de oxígeno y biomasa. Esto puede llevar a reacciones incompletas de gasificación, lo que reduce la producción de gas de síntesis y puede generar subproductos indeseables como alquitrán. Una mezcla inadecuada también puede provocar un exceso de carbono en las partículas sólidas, lo que limita la eficiencia energética. Un flujo de aire excesivo puede generar una mezcla excesiva de oxígeno, lo que conduce a una mayor oxidación y combustión en lugar de una gasificación eficiente. Esto resulta en una disminución de la producción de gas de síntesis y en la generación de más calor y dióxido de carbono (CO₂), para controlar el flujo de aire se pueden utilizar sensores de gases y sistemas de control para monitorear y ajustar la velocidad del flujo de aire en tiempo real.

5. ¿Cuáles son algunos ejemplos de diferentes tipos de combustibles de biomasa y cómo se comportan en la generación de calor y la producción de gases durante el proceso de gasificación?

Cada tipo de biomasa tiene características únicas que afectan su comportamiento en la generación de calor y la producción de gases durante la gasificación. Leña y residuos de madera: Generación de calor: La madera es una fuente común de biomasa y genera calor de manera eficiente debido a su densidad y contenido de carbono. Producción de gases: La gasificación de madera produce principalmente monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H₂), con cantidades más bajas de dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄). Cáscaras de nuez y cáscaras de frutas: Generación de calor: Estos residuos de biomasa son ricos en lignina y celulosa, lo que les permite generar calor eficientemente. Producción de gases: La gasificación de estas cáscaras produce un gas de síntesis que contiene CO, H₂ y cantidades más bajas de CO₂ y CH₄. Es importante destacar que las características exactas de la generación de calor y la producción de gases pueden depender de factores como la composición química de la biomasa, su contenido de humedad y las condiciones específicas de operación del gasificador.

8 Cronograma de ejecución.

En el presente acápite se detallan las actividades a realizar durante todo el proyecto. Los tiempos de ejecución fueron fijados por fases, dichas fases contienen tareas específicas las cuales son detalladas en la siguiente lista:

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GASIFICACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD JUNTO A UN SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF GRID CON FINES ACADÉMICOS EN EL LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES DE LA FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN.

				2021		2022		2023
FASES	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	Inicio	Avance	Semestre I	Semestre II	Semestre I	Semestre II	Semestre I
1	Selección del tema a desarrollar	feb-21	100%					
	Recopilación de información	feb-21	100%					
	Revisión y recopilación de datos	feb-21	100%					
	Discusión de datos entre compañeros	feb-21	100%					
	Desarrollo del estudio	feb-21	100%					
	Selección de método de investigación	feb-21	100%					
	Análisis de datos recopilados	feb-21	100%					
2	Consultas a profesionales en el ramo de generación de energía eléctrica	mar-21	100%					
	Redacción de primer avance	abr-21	100%					
	Revisión de primer avance	abr-21	100%					
3	Entrega de Protocolo	abr-21	100%					
4	Observación de primer prueba del sistema híbrido	jul-21	100%					
	Descripción de funciones del sistema híbrido	mar-22	100%					
	Observación de elementos en mal estado	mar-22	100%					
5	Mantenimiento correctivo de los equipos	jul-22	100%					
	Realización de segunda prueba	ago-22	100%					
6	Desarrollar guía metodológica	sep-22	100%					
	Revisión de guía metodológica	oct-22	100%					
	Corrección de guía metodológica	nov-22	100%					
7	Elaboración de documento final	ene-23	100%					
8	Defensa monográfica	mar-23	0%					

9 Conclusiones y Recomendaciones

En síntesis, esta investigación ha permitido la elaboración de guías prácticas y útiles para el mantenimiento y operación de equipos de generación de energía eléctrica. Se ha logrado un análisis exhaustivo de las diferentes tecnologías utilizadas en la generación de energía eléctrica y sus respectivos procesos de mantenimiento y operación. Además, se han identificado los principales riesgos asociados a la operación de estos equipos.

La implementación de las guías metodológicas propuestas en este trabajo monográfico puede mejorar significativamente el rendimiento de los estudiantes en conocimiento de generación de energía eléctrica a través de fuentes renovables. En definitiva, este trabajo ha contribuido al desarrollo de prácticas eficientes y seguras en el campo de la generación de energía eléctrica, lo que puede tener un impacto positivo en el crecimiento académico por parte de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Ahora bien, como todo proyecto si se puede medir se puede mejorar, una de las labores de todo científico o ingeniero es buscar el mejoramiento de sus proyectos o tomar inspiración de trabajos ya realizados y mejorarlos, ya que se mantiene la constante actualización y progreso. Con esto dicho la tesis presentada, dejara planteado algunas mejoras a futuro, que por cuestiones de alcance en este trabajo no se abarcaron, de esta manera tener una base por donde comenzar las futuras mejoras o actualizaciones que se tomarían en cuenta para retomar este trabajo ya que aun poseen amplio margen de desarrollo, las cuales en un futuro como recomendación pueden ser abordadas por nuevas generaciones y seguir aportando en este proyecto didáctico.

Como mejora general de todo el proyecto monográfico, se deberá tomar en cuenta de manera ineludible la adquisición de un motor a combustión para que de esta forma los sistemas trabajen paralelamente, siendo estos controlados mediante un transferswitch y cumpliendo así el antecedente y objetivo ya plasmado en esta primera incursión al sistema de gasificación y paneles fotovoltaicos off grid.

El gasificador no cuenta con un encendido automático, este después de colocada la leña en el reactor se debe de agregar gas en el reactor o algún tipo de combustible inflamable que ayude a la combustión inicial de la leña y posterior encender con los cerillos, el grupo pensó que este método aunque funcional da pie al peligro, ya que el operador podría sufrir de quemaduras y se planteó que como mejora a futuro definir un método de encendido electrónico que después de agregado el gas o la leña use el encendido electrónico para mantener una distancia segura con la llama producida en el encendido.

Como segunda mejora a futuro se plantea que se debería de instalar un sistema separador de gases con el cual se puedan filtrar los gases obtenidos por la combustión de la madera, esto con el objetivo de maximizar el uso de cada uno de los elementos que se obtienen para utilizar los gases en distintas aplicaciones.

Como tercera mejora en este caso para el sistema fotovoltaico, el grupo propone realizar un análisis de generación prolongando las horas solares pico a través de un sistema automatizado utilizando servomotores que ubiquen los paneles perpendiculares al sol.

10 Referencias Bibliográficas.

- [1] Cortés, S., & Londoño, A. A. (2017). Energías renovables en Colombia: una aproximación desde la economía. *Revista Ciencias Estratégicas*, 25(38), 375-390.
- [2] Altomonte, H., Coviello, M., & Lutz, W. F. (2003). Energías renovables y eficiencia energética en América Latina y el Caribe: restricciones y perspectivas. CEPAL.
- [3] Coviello, M., Gollán, J., & Pérez, M. (2012). Las alianzas público-privadas en energías renovables en América Latina y el Caribe.
- Jaén, R. L., & Ruiz, L. O. (2010). Potencial energético de los residuos de la industria de la madera en el aserrío “el brujo” de la empresa gran piedra baconao, para la generación de energía eléctrica a partir de un grupo gasificador-motor de combustión interna-generator eléctrico. *Tecnología Química*, 30(1), 97-101.
- [4]
- [5] Gómez, C. M. (2012). La eficiencia energética en el uso de la biomasa para la generación de energía eléctrica: optimización energética y exergética (Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid).
- [6] Wegener, K. (1949). La constante solar. *Geofísica pura e applicata*, 15(3), 186-189.
- [7] López de la Fuente, J. (1984). Radiación solar en la zona del Pacífico: Nicaragua, 1993 encuentro: *Revista Académica de la Universidad Centroamericana*, (22) 59-78.
- [8] Montaña Pisfil, J. A. (2021). Sistemas fotovoltaicos OFF GRID y la electrificación rural sostenible de las zonas aisladas. un caso de estudio.
- [9] González, M. A. (2013). Modelado y simulación de celdas y paneles solares. In *Congreso Internacional de Ingeniería Electrónica* (Vol. 35, pp. 17-22).
- [10] Soto, I. E. P. (2005). Celdas fotovoltaicas en generación distribuida. Santiago de Chile, 7. González, M. A. (2013). Modelado y simulación de celdas y paneles solares. In.
- [11] Congreso Internacional de Ingeniería Electrónica (Vol. 35, pp. 17-22).
- [12] *Mapas de recursos solares de Nicaragua*. (s. f.). <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/nicaragua>

11 Índice De Figuras

Figura 1.	Procesos de conversión de biomasa en energía	10
Figura 2.	Procesos termoquímicos de conversión de biomasa en energía	11
Figura 3.	Productos de la gasificación de biomasa	15
Figura 4.	Diagrama de instalación de un gasificador con sus etapas de proceso de gasificación.	16
Figura 5.	Gasificador de flujo ascendente.....	18
Figura 6.	Gasificador de flujo descendente.....	18
Figura 7.	Gasificador de lecho fluido.....	19
Figura 8.	Variación de la radiación atmosférica mensual.	21
Figura 9.	Mapa del potencial eléctrico fotovoltaico de nicaragua	23
Figura 10.	Mapa de Irradiación global horizontal de Nicaragua.....	25
Figura 11.	Mapa de irradiación directa normal de Nicaragua	27
Figura 12.	Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica (on grid).	33
Figura 13.	Configuración de una central fotovoltaica con uno o más inversores.	34
Figura 14.	Estructura tipo sándwich en un panel.	35
Figura 15.	Representación eléctrica de una celda solar.....	36
Figura 16.	Curva voltaje- voltaje corriente- potencia de una celda solar	39
Figura 17.	Celda irradiada por el sol	41
Figura 18.	Celda no irradiada por el sol	41
Figura 19.	Panel fotovoltaico compuesto por células de silicio monocristalino.....	42
Figura 20.	Panel fotovoltaico compuesto por células de Silicio puro policristalino....	43
Figura 21.	Conexión en serie de paneles fotovoltaicos	46
Figura 22.	Conexión en paralelo de paneles fotovoltaicos.....	49
Figura 1	Procesos de conversión de biomasa en energía	51

Figura 23.	Procesos de conversión de biomasa en energía	54
Figura 24.	Diagrama de instalación de un gasificador con sus etapas de proceso de gasificación.	56

12 Índice de tablas

Tabla 1.	Valores caloríficos brutos de varias sustancias biomásicas.	12
Tabla 2.	Valores de placa del panel fotovoltaico.	45