



 **Ciencia
Digital**
Editorial

ENERGÍAS RENOVABLES

WILLIAM ARMANDO HIDALGO OSORIO
PACO JOVANNI VASQUEZ CARRERA
GUIDO GABRIEL CARRILLO VELARDE
FRANKLIN GERMANICO VASQUEZ CARRERA

www.cienciadigitaleditorial.com

ISBN: 978-9942-8914-4-0



9 789942 891440

El libro **Energías Renovables.** está avalado por un sistema de evaluación por pares doble ciego, también conocido en inglés como sistemas “double-blind peer review” registrados en la bases de datos de la **EDITORIAL CIENCIA DIGITAL** con registro en la Cámara Ecuatoriana del Libros No.663 para la revisión de libros, capítulos de libros o compilación.

Evaluadores:

Dr.C. Yasser Vazques Alafon PhD (Universidad de la Habana, Cuba)

Dr. Christian Rivera García PhD (Universidad Estatal de Babahoyo, Ecuador)

ISBN 978-9942-8914-4-0

Primera edición, agosto 2021

Edición con fines didácticos

Coeditado e impreso en Ambato - Ecuador

El libro que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Editorial Ciencia Digital**. El libro quedan en propiedad de la editorial y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Editorial Ciencia Digital**.



Jardín Ambateño, Ambato, Ecuador

Teléfono: 0998235485 – 032-511262

Publicación:

w: www.cienciadigitaleditorial.com

w: <http://libros.cienciadigital.org/index.php/CienciaDigitalEditorial>

e: luisefrainvelastegui@cienciadigital.org

AUTORES

- ◉ Ing. William Armando Hidalgo Osorio. M.Sc.
- ◉ Ing. Paco Jovanni Vásquez Carrera M.Sc.
- ◉ Ing. Guido Gabriel Carrillo Velarde M.Sc.
- ◉ Ing. Franklin Germánico Vásquez Carrera M.Sc

ISBN: 978-9942-8914-4-0



 **CIENCIA DIGITAL EDITORIAL**

La **Editorial Ciencia Digital**, creada por Dr.C Efraín Velasteguí López PhD. en 2017, está inscrita en la Cámara Ecuatoriana del Libro con registro editorial No 663

El **objetivo** fundamental de la **Editorial Ciencia Digital** es un observatorio y lugar de intercambio de referencia en relación con la investigación, la didáctica y la práctica artística de la escritura. Reivindica a un tiempo los espacios tradicionales para el texto y la experimentación con los nuevos lenguajes, haciendo de puente entre las distintas sensibilidades y concepciones de la literatura.

El acceso libre y universal a la cultura es un valor que promueve Editorial Ciencia Digital a las nuevas tecnologías esta difusión tiene un alcance global. Muchas de nuestras actividades están enfocadas en este sentido, como la biblioteca digital, las publicaciones digitales, a la investigación y el desarrollo.

Desde su creación, la Editorial Ciencia Digital ha venido desarrollando una intensa actividad abarcando las siguientes áreas:

- Edición de libros y capítulos de libros
- Memoria de congresos científicos
- Red de Investigación

Editorial de las revistas indexadas en Latindex 2.0, Ciencia Digital, Visionario Digital, Explorador Digital, Conciencia Digital, Anatomía digital & Alfa Publicaciones.

ISSN: 2602-8085 Versión Electrónica

-  Los aportes para la publicación de esta obra, está constituido por la experiencia de los investigadores

EDITORIAL REVISTA CIENCIA DIGITAL



 Efraín Velasteguí López¹

Contacto: Ciencia Digital, Jardín Ambateño, Ambato- Ecuador

Teléfono: 0998235485 - 0958791575

Publicación:

w: www.cienciadigitaleditorial.com

e: luisefrainvelastegui@cienciadigital.org

Editora Ejecutiva

Ing. Lorena Barona López. PhD.

Director General

Dr.C Luis Efraín Velasteguí PhD

¹ **Efraín Velasteguí López:** Magister en Tecnología de la Información y Multimedia Educativa, Magister en Docencia y Currículo para la Educación Superior, Doctor (**PhD**) en Ciencia Pedagógicas por la Universidad de Matanza Camilo Cien Fuegos Cuba, cuenta con más de 100 publicaciones en revista indexadas en Latindex y Scopus, 21 ponencias a nivel nacional e internacional, 13 libros con ISBN, en multimedia educativa registrada en la cámara ecuatoriano del libro, tres patente de la marca Ciencia Digital, Acreditación en la categorización de investigadores nacionales y extranjeros Registro REG-INV-18-02074, Director, editor de las revistas indexadas en Latindex Catalogo 2.0, Ciencia digital, Visionario Digital, Explorador Digital, Conciencia Digital, Anatomía Digital, Alfa Publicaciones y editorial Ciencia Digital registro editorial No 663. Cámara Ecuatoriana del libro Director de la Red de Investigación Ciencia Digital, emitido mediante Acuerdo Nro. SENESCYT-2018-040, con número de registro REG-RED-18-0063

EJEMPLAR GRATUITO.

PROHIBIDA SU VENTA.



El "copyright" y todos los derechos de propiedad intelectual y/o industrial sobre el contenido de esta edición son propiedad de CDE. No está permitida la reproducción total y/o parcial de esta obra, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, electrónico, mecánico, por fotocopia o por registro u otros medios, salvo cuando se realice con fines académicos o científicos y estrictamente no comerciales y gratuitos, debiendo citar en todo caso a la Editorial.

“Investigar es ver lo que todo el mundo ha visto,
y pensar lo que nadie más ha pensado”.

Iberty Szent-Györgyi

PROLOGO.

El presente libro, Energías renovables, se destina a ser utilizado, de modo particular, en la enseñanza en general y de manera general, como libro divulgativo que trata la situación energética y en la eficiencia energética, dada la necesidad de ahorro de energía. Se ha pretendido elaborar un libro que pueda ser leído por cualquier persona sin formación técnica en la materia y lograr que, a través de su lectura, pueda entender cómo es la generación de electricidad y la producción de energía alternativa a partir de fuentes energéticas renovables, y las particularidades de los sistemas eléctricos aislados. Su carácter divulgativo favorecerá su aprovechamiento por jóvenes, pero también por personas de todas las edades que sientan interés por los temas energéticos alternativos.

En el capítulo uno se trata sobre la radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. El Sol es una estrella que se encuentra a una temperatura media de 6000 K (5727 ° Celsius) en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones de fisión nuclear que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía liberada del Sol se transmite al exterior mediante la radiación solar. La radiación emitida por el Sol atraviesa el espacio vacío en todas direcciones. Según la Organización Mundial de Meteorología (WMO de sus siglas en inglés) la constante solar es igual a 1353 W/m². La distancia entre la Tierra y el Sol varía a lo largo del año debido a la excentricidad de la elipse. Es importante destacar que el valor numérico de la irradiancia extra atmosférica sólo requiere consideraciones geométricas.

En el capítulo dos las fuentes energéticas, como la biomasa que determina a un

conjunto múltiple de materiales orgánicos tanto por su origen como por su naturaleza y composición que puede utilizarse para obtener energía. La energía que acumula la biomasa tiene su origen en el sol, agua del suelo el CO₂ de atmosfera, acumulando en ellas sustancias orgánicas (energía) y liberando oxígeno durante el proceso

En el capítulo tres la navegación ha sido el modo de explotación de la energía eólica desde el inicio de los tiempos más remotos; las referencias iniciales de la implementación de embarcaciones a vela resultan de Egipto entre el IV y V milenio antes de J.C. Los molinos de viento ya eran en la antigüedad. Persia, Irak, Egipto y China poseían de aparatos eólicos muchos siglos antes de J.C. Existen en China reseñas de la presencia de molinos de rotor vertical y palas a base de telas instaladas sobre un armazón de madera, utilizados para el bombeo de agua. En el siglo XVI Holanda retoca el diseño de los molinos y los emplea para el drenaje; no obstante, no sólo para drenar el agua, sino también para extraer aceites de semillas, moler grano, etc.; esencialmente el nombre de molinos proviene de este tipo de desempeño.

Es preciso destacar que el ahorro energético es fundamental para el mundo actual, sobre todo considerando la dependencia prácticamente absoluta de los combustibles fósiles. En este contexto se ha de resaltar que el kWh más limpio no es el más “renovable”, sino el que no se consume.

A nivel mundial las investigación se alzan a favor de que el ahorro energético se convierta en una disciplina científica, ocupando así el lugar que le pudiera corresponder y esperando, de esta forma, lograr una mayor reducción del consumo energético.



Dr.C. Luis Efraín Velasteguí PhD.

EDITORIAL CIENCIA DIGITAL

TABLA DE CONTENIDOS

Contenido

<i>TABLA DE CONTENIDOS</i>	10
<i>INTRODUCCION</i>	12
<i>1 ENERGIA SOLAR</i>	18
1.1 <i>Influencia de la atmósfera terrestre en la radiación solar.</i>	19
1.2 <i>Formas de aprovechamiento de la energía solar.</i>	23
1.2.1 <i>Energía solar térmica.</i>	23
1.2.2 <i>Energía solar fotovoltaica.</i>	29
<i>2 LA BIOMASA Y LOS BIOCOMBUSTIBLES COMO FUENTES ENERGETICAS.</i>	48
2.1 <i>Clasificación:</i>	49
2.1.1 <i>Biocombustibles sólidos.</i>	55
2.1.2 <i>Biocombustibles líquidos</i>	58
2.1.3 <i>Biocombustibles Gaseosos</i>	75
<i>3 ENERGÍA EÓLICA</i>	84
3.1 <i>Circulación general de los vientos.</i>	86
3.2 <i>Corriente en chorro o jet stream.</i>	88
3.3 <i>Tipologías De Vientos.</i>	90

3.3.1 Brisas.....	91
3.3.2 Vientos catabáticos y anabáticos.....	92
3.4 Velocidad del viento.....	93
3.5 Energía útil del viento.....	96
3.6 Instalaciones eólicas.....	102
3.6.1 Tecnología.....	105
3.6.2 Rentabilidad del proyecto.....	106
3.6.3 Composición y diseño del parque.....	106
3.6.3.1 Aerogeneradores.....	108
CONCLUSIONES.....	111
BIBLIOGRAFIA.....	112
PARA CITAR EL LIBRO.....	119

INTRODUCCION

El presente libro pretende servir de guía a todos los interesados en las energías sostenibles, mostrando los temas más destacados de estas tecnologías.

Los problemas que plantea el uso de combustibles fósiles para satisfacer la creciente demanda de energía han obligado a buscar otras fuentes de aprovisionamiento. Las sociedades deben hacer frente a la carestía del petróleo, la vulnerabilidad del suministro o las amenazas del calentamiento global y el agotamiento de estos combustibles. Las energías renovables obtenidas de forma descentralizada y su empleo con fines energéticos dan utilidad al suelo laborable que sucesivamente se está dejando baldío. A partir de ellas se puede obtener a través una variedad de actividades (solar, biomasa, eólica, etc.) que se adaptan a todos los campos de utilización actual de los combustibles tradicionales. Mediante procesos específicos se obtiene toda una serie de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos que pueden utilizarse para cubrir las necesidades energéticas de confort, transporte, cocina, industria y electricidad, o servir de materia prima para la industria.

Para alcanzar el desarrollo sostenible en países cuya economía depende en su mayoría de la producción agropecuaria es todo un reto y un desafío inevitable el ocuparse en temas relacionados con dicha la energía.

Es indudable que la innovación y tecnificación de los procesos agroindustriales y las acciones agropecuarias, son pertrechos que empujan al mejoramiento de la competitividad y productividad de los disímiles sectores económicos, acarreado a los territorios rurales, de economías frágiles, hacia esquemas de desarrollo y crecimiento real. Luego la disponibilidad de energía es trascendental. Asimismo, es de vital importancia adquirir las fuentes de energía para satisfacer las necesidades humanas básicas, afín con la oferta de recursos y capacidad de aprovechamiento del entorno natural.

Por esta razón se han coordinado a nivel global una serie de acciones,

encaminadas a estimular la asequibilidad y empleo de las energías renovables y un mejoramiento de la eficiencia energética como caudales para acrecentar el nivel de vida, fundamentalmente en territorios rurales. Entre estas se halla el perfeccionamiento de una guía paso a paso que comprende la sistematización y difusión de las lecciones y experiencias adquiridas en el uso y acceso de energías renovables. Con el objetivo de situar un instrumento que admita avivar medidas de eficiencia energética y el uso de los recursos energéticos renovables en el sector agro productivo y lograr que se hagan visibles a través de la productividad y el beneficio económico, creando equidad, calidad de vida y favoreciendo a mitigar los efectos del cambio climático.

Concepto: La energía es la capacidad que tienen los cuerpos para producir trabajo mecánico, emisión de luz, generación de calor, etc. La energía puede manifestarse de distintas formas: vibratoria, cinética, química, eléctrica, magnética, nuclear, radiante, etc., existiendo la posibilidad de que se transformen entre sí, pero respetando siempre el principio de conservación de la energía.



Fig. 1 Energías renovables

Fuente: (Mendes, 2020)

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Además, se denomina desarrollo sostenible aquel desarrollo que satisface las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las

generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades, en otras palabras, es el desarrollo que procede de la utilización de energías renovables.

Toda la energía de que disponemos proviene del Sol. El Sol causa el viento, la evaporación de las aguas, la formación de nubes, las lluvias, etc. Su calor y su luz son la base de reacciones químicas indispensables para el desarrollo de los vegetales y de los animales, cuyos restos, con el paso de los siglos, originaron los combustibles fósiles como carbón, petróleo y gas natural.

Necesidad del remplazo.

En el mundo que conocemos, la mayor parte de la energía consumida se utiliza en el transporte, sector que experimenta una propensión a incrementarse y en la producción de electricidad a la cual estamos todos acostumbrados y sería inaceptable prescindir de su uso, aunque sabemos que los recursos energéticos para producirla se agotarán en algún momento fundando riesgos para la paz mundial., por otra parte, quemar combustibles fósiles posee un efecto muy peligroso sobre el clima contribuyendo al efecto invernadero, a la contaminación local, a la lluvia ácida y por ultimo Contribuye a la deforestación.



Fig. 2. Recurso naturales

Fuente: (López C. , 2009)

Evitar el peligro del cambio climático, supone una disminución inmediata en el uso de los combustibles fósiles. Por esta causa requerimos energía barata y crecientemente «limpia». Y para esto es esencial contar con sistemas energéticos sostenibles, confiables y factibles, en vistas a un adecuado desarrollo de la economía y la sociedad en el mundo.

El acceso seguro a estos sistemas de generación de energía y la permanencia estos constituyen un punto clave para el desarrollo. Los países que dependen principalmente de la importación de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, sustancialmente enfrentan varios riesgos a largo plazo, como por ejemplo las evidentes tensiones económicas incitadas por la inestabilidad de sus precios debido a su agotamiento, la fragilidad de los sistemas de transporte y el almacenamiento de combustibles ante los efectos del cambio climático (por ejemplo, el acrecentamiento de la fuerza y frecuencia de los huracanes, temblores, inundaciones, entre otros) . No obstante, el ser humano ha descubierto alternativas viables en contra posición de los modelos de consumo de combustibles fósiles.

En estos últimos 30 años se han reducido los costos de las tecnologías modernas de energía renovable. Este hecho ha sido acompañado por el aumento de su eficiencia y confiabilidad.

En todo el mundo pueden encontrarse abundantes recursos renovables para la generación de energía sostenible, a partir de la energía solar, eólica, geotérmica, hídrica y de biomasa que les ofrecen a nuestros países la alternativa de utilizar recursos naturales en la producción de electricidad «limpia». De hecho, las tecnologías de energía renovable ayudan a satisfacer el creciente aumento de la demanda de electricidad tanto en redes energéticas como en sistemas aislados de las redes. Si además añadimos los progresos en la eficiencia energética se pueden alcanzar significativos ahorros en el uso de los combustibles fósiles.

C A P I T U L O 1



ENERGÍA

SOLAR

Tabla de contenido

- Influencia de la atmósfera terrestre en la radiación solar.
- Formas de aprovechamiento de la energía solar.
- Energía solar térmica.
- Energía solar fotovoltaica.

Copyright 2021

CIENCIA DIGITAL EDITORIAL

Ecuador - Ambato

Prohibida la reproducción total o parcial
sin autorización.

La redacción de este UNIDAD TEMÁTICA estuvo a cargo de:

Ing. William Armando Hidalgo Osorio. M.Sc.

Ing. Paco Giovanni Vasquez Carrera M.Sc.

Ing. Guido Gabriel Carrillo Velarde M.Sc.

Ing. Franklin Germanico Vasquez Carrera M.Sc.

Digital en PDF: Ciencia Digital Editorial

Telef. (595)032-511-262

<http://libros.cienciadigital.org/index.php/CienciaDigitalEditorial>

www.cienciadigitaleditorial.com

CAPITULO 1

1 ENERGIA SOLAR

Conceptos básicos.

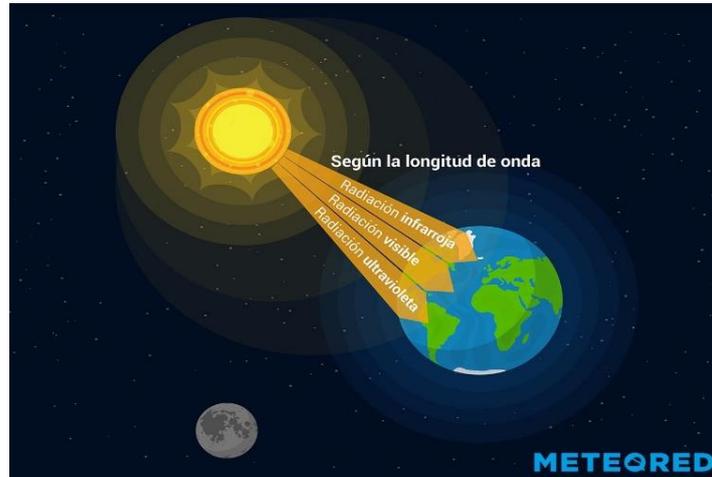


Fig 1.1 Radiación solar

Fuente: (Maldonado, 2020)

La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. El Sol es una estrella que se encuentra a una temperatura media de 6000 K (5727 ° Celsius) en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones de fisión nuclear que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía liberada del Sol se transmite al exterior mediante la radiación solar. El Sol se comporta prácticamente como un cuerpo negro, el cual emite energía siguiendo la ley de Planck a la temperatura. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la Tierra, esto se debe a que las ondas ultravioletas más cortas son absorbidas por los gases de la atmósfera, y la otra parte es absorbida por el suelo, y otra parte es reflejada directamente al espacio desde el suelo. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, que mide la potencia que por unidad de superficie alcanza a la Tierra. Su unidad es el W/m^2 .

De manera directa o indirecta, es la fuente de todas las energías renovables, excepto la energía mareomotriz y la geotérmica. Por lo que menos del

cincuenta por ciento de la radiación solar llega con eficacia a la superficie del planeta para poder ser aprovechada en la generación de energía.

La radiación emitida por el Sol atraviesa el espacio vacío en todas direcciones. No sufre pérdidas apreciables por interacción con medios materiales. Sin embargo, la irradiancia solar, definida como la densidad de flujo radiante solar, es atenuada de acuerdo con el cuadrado de la distancia. Parte de esta irradiancia solar es interceptada por el planeta Tierra. Dada la relación entre la distancia con el Sol y el tamaño de nuestro planeta, es razonable asumir que su valor es constante en toda la superficie exterior de nuestra atmósfera. Se define la constante solar, B_0 , como el valor de irradiancia solar incidente en un plano normal al vector Sol-Tierra en el límite superior de la atmósfera terrestre. Diferentes campañas de medidas han obtenido valores diferentes para la constante solar, pero se acepta como representativo el valor promedio según la Organización Mundial de Meteorología (WMO de sus siglas en inglés) de $B_0 = 1353 \text{ W/m}^2$. La distancia entre la Tierra y el Sol varía a lo largo del año debido a la excentricidad de la elipse. Esta variación influye en la irradiancia solar que alcanza la atmósfera irradiancia incidente en una superficie tangente a la atmósfera en una latitud determinada, denominado como irradiancia extra atmosférica o extra terrestre en el plano horizontal, representa el valor límite alcanzable en la superficie terrestre en un plano horizontal. Es importante destacar que el valor numérico de la irradiancia extra atmosférica sólo requiere consideraciones geométricas.

Es posible demostrar que el promedio mensual de esta irradiación diaria coincide numéricamente con el valor de irradiación diaria correspondiente a los denominados "días promedios", días en los que la declinación correspondiente coincide con el promedio mensual, Por tanto, podemos calcular el valor medio mensual de la irradiación diaria extra atmosférica sin más que incluir en el valor de la declinación de uno de los doce días promedio.

1.1 Influencia de la atmósfera terrestre en la radiación solar.

A su paso por la atmósfera, la radiación solar es sometida a una combinación de procesos de reflexión, atenuación y difusión que alteran sus características. La reflexión en las nubes disminuye la radiación incidente en la superficie terrestre mientras que la absorción por vapor de agua, ozono y CO₂ produce

una modificación de las características espectrales de la radiación. Además, la dispersión por partículas varia la distribución espacial de la radiación. En dependencia del tamaño de la partícula en interacción pueden distinguirse tres fenómenos de difusión, donde la longitud de onda es mucho mayor que el tamaño de la partícula. Se produce en las capas altas y es responsable del color azul del cielo.

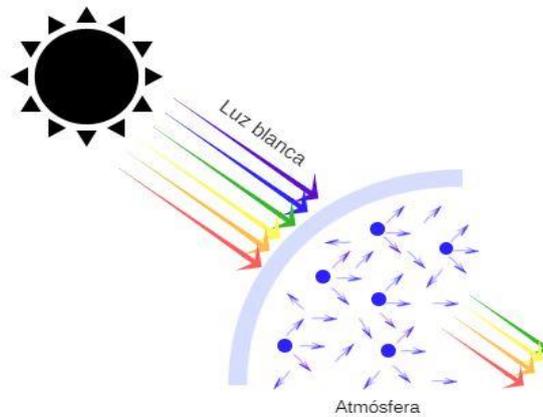


Fig. 1.2 Dispersión de Rayleigh.

Fuente: (García & Gutiérrez, 2018)

- Difusión de Mie, donde la longitud de onda es de magnitud similar al tamaño de la partícula. Se produce en las capas bajas de la atmósfera.

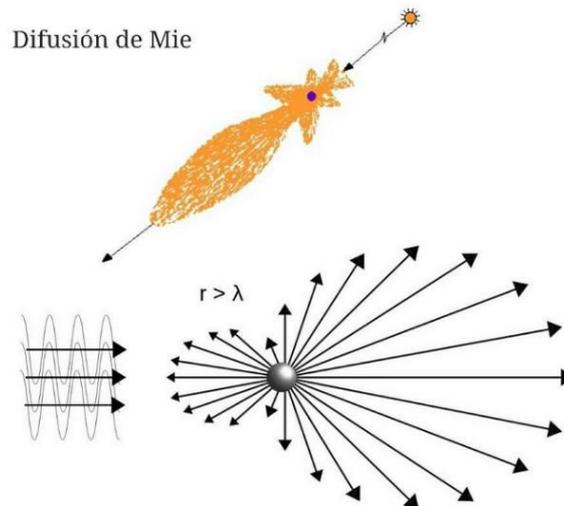


Fig 1.3 Difusión de Mie

Fuente: (Sheepy, 2018)

- Difusión no selectiva, aquella en la que la longitud de onda es mucho menor

que el tamaño de la partícula.

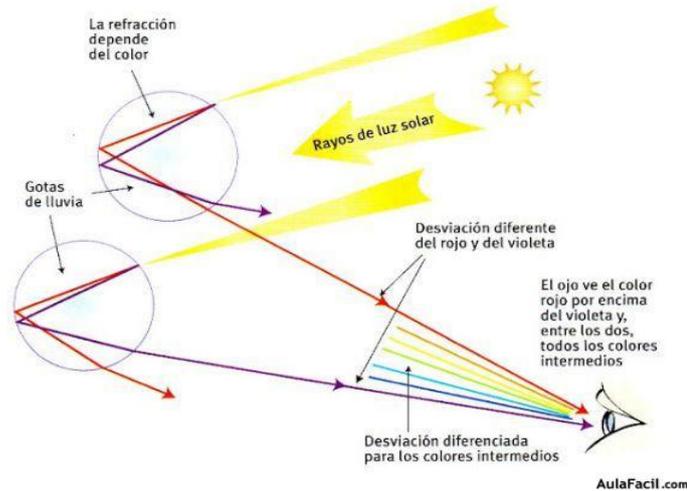


Fig. 1.4 Formación de un arcoíris en la atmósfera.

Fuente: (Facil, 2017)

Nos será útil definir la masa de aire (AM, air mass) como la relación entre el camino recorrido por los rayos directos del Sol a través de la atmósfera hasta la superficie receptora y el que recorrerían en caso de incidencia vertical.

Para el cálculo de la irradiancia solar que incide en una superficie localizada en corteza terrestre será útil distinguir tres contribuciones diferentes. Estas contribuciones, comúnmente denominadas componentes, son:

Radiación Directa, B: representa la fracción de irradiancia procedente en línea recta del Sol.

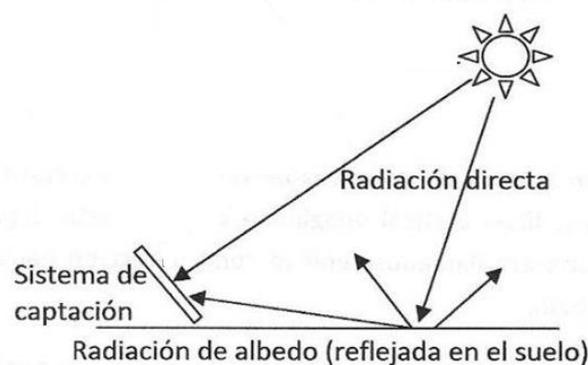


Fig. 1.5 Irradiación solar directa.

Fuente: (Trippi, 2014)

Radiación Difusa, D: cuantifica la radiación procedente de todo el cielo salvo

del Sol, y por tanto incluye todos los rayos dispersados por la atmósfera según los procesos descritos. Es una radiación anisotrópica, cuyo valor depende de la zona celeste de procedencia. Más aún, dado que las propiedades de la atmósfera se transforman con el tiempo de forma aleatoria, la radiación difusa deberá ser asimilada como un proceso estocástico.

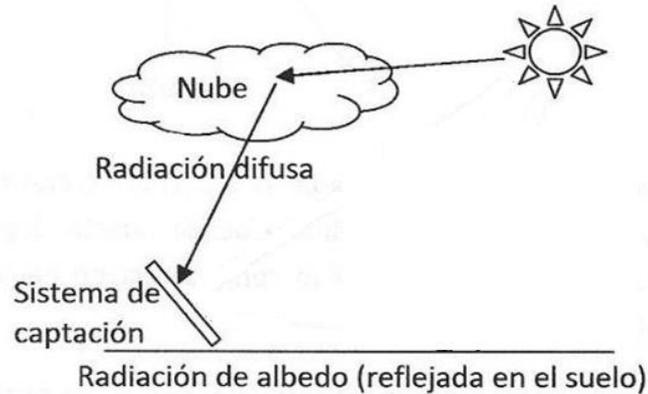


Fig. 1.6 Irradiación solar indirecta.

Fuente: (Trippi, 2014)

Radiación del albedo, R o AL: es aquella fracción de radiación procedente de la reflexión en el suelo. Habitualmente supone una contribución muy pequeña y en algunos casos puede ser despreciada.

La suma de estas tres componentes forma la denominada irradiancia global,

$$G = B + D + R.$$



Fig. 1.7 Tipos de radiaciones

Fuente: (Lorenzo, 2015)

1.2 Formas de aprovechamiento de la energía solar.

Desde hace siglos se ha aprovechado La energía natural del Sol, directa o indirectamente, en numerosas actividades como la agricultura, arquitectura e industria entre otras.

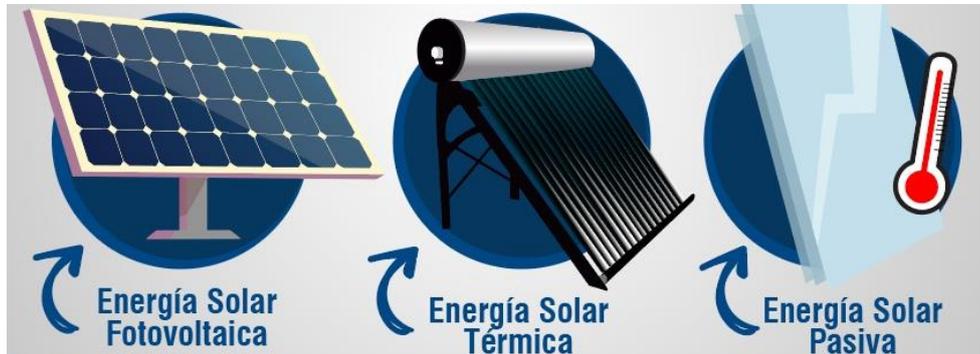


Fig. 1.8 Formas de aprovechamiento de la energía solar.

Fuente: (Garcia, 2018)

El Sol puede producir energía de dos maneras diferentes:

- Como fuente de calor: energía solar térmica de baja y media temperatura.
- Como fuente de electricidad: energía solar fotovoltaica y solar térmica de alta temperatura.

1.2.1 Energía solar térmica.

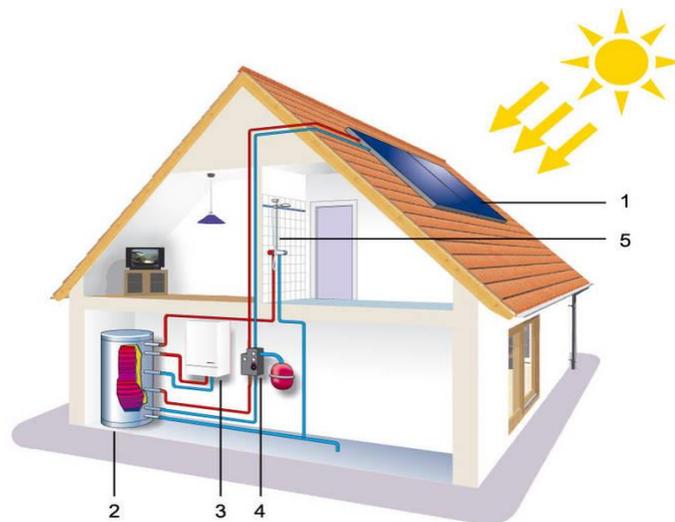


Fig. 1.9 Energía Solar Térmica

Fuente: (tic, 2017)

Este sistema solar funciona bajo un principio básico realmente simple: el calor

adquirido de la radiación solar es transportado mayormente a través de aire o agua. Para esta adquisición de la energía solar se utiliza un captador solar, también llamado colector o placa solar. El fluido portador del calor se puede usar directamente para calentar agua o indirectamente mediante un intercambiador de calor como es el caso de un radiador utilizado en sistemas de calefacción ya sea residencial o industrial. De acuerdo a la temperatura de aprovechamiento se puede clasificar el aprovechamiento en de alta, media y baja, siendo sus límites:

- * Hasta 100° C: de baja temperatura;
- * Desde 100° C y hasta 300° C: de mediana temperatura;
- * Mayores a 300° C: de alta temperatura.

Los sistemas solares térmicos de alta temperatura son utilizados en grandes instalaciones donde el principal elemento es una torre paraboloide, o un campo de helióstatos que concentran la radiación solar en una torre central, que puede lograr valores de temperaturas por encima a los 4000° C; Por lo general se tratan de sistemas con una caldera central que genera vapor a alta temperatura para usos térmicos o a través de una turbina con un generador producir electricidad.

En los sistemas solares térmicos de mediana temperatura, por lo general se utilizan colectores parabólicos, estos agrupan la radiación solar en un tubo colector el cual recibe y transmite el calor, logrando valores de temperatura de hasta 300° C. utilizadas en aplicaciones que demandan temperaturas del agua entre 80 °C y 250 °C, como es el caso del calentamiento de fluidos para procesos industriales y la desalinización de agua de mar.

Los sistemas solares térmicos de baja temperatura son los que su aprovechamiento se realiza a través de colectores planos, cuya característica común es que no tienen poder de concentración, es decir, la relación entre la superficie externa del colector y la superficie captadora, la interior, es prácticamente la unidad, estos son los más extendidos y se destinan a aquellas aplicaciones que no demandan temperaturas del agua por encima del punto de ebullición, como, por ejemplo, la producción de agua caliente

sanitaria para viviendas, calefacción de viviendas, calentamiento de agua para piscinas con colectores diseñados para ellas que aumentan la temperatura 2 y 6 grados, etc.

El principal parámetro que caracteriza la eficiencia de cualquier captador solar es su curva de rendimiento. En general, se define el rendimiento de un captador como la relación entre el flujo energético que llega a la superficie de este y la energía útil que se transmite al fluido; así, el rendimiento instantáneo de un captador varía en función de la radiación, la temperatura del agua que entra al captador, la temperatura ambiente, la temperatura de la placa y los materiales empleados en la construcción.

1.2.1.1 Elementos que componen una placa solar.

La placa solar usualmente es compuesta por las partes siguientes:

- Cubierta frontal transparente, normalmente construida de vidrio.
- Superficie absorbente, por donde circula el fluido (normalmente agua) al cual es transferido el calor.
- Aislamiento térmico, para evitar las pérdidas de calor.
- Carcasa externa, para su protección.

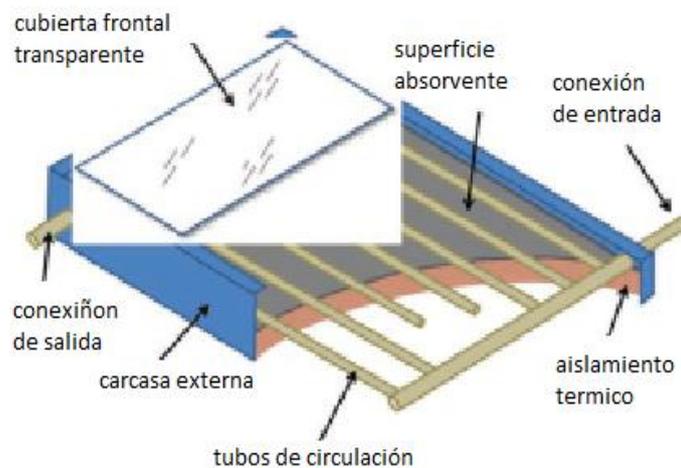


Fig. 1.10 Elementos Principales De Un Calentador Solar.

Fuente: Investigador

El colector solar basa su funcionamiento en el efecto invernadero: los rayos solares (onda corta) inciden en el vidrio y lo atraviesa y es absorbida por una superficie que se calienta. Esta superficie emite, a su vez, radiación térmica

(onda larga); sin embargo, este tipo de onda no puede traspasar el vidrio, por lo que la energía se queda dentro del colector.

Media y alta temperatura:

Para la obtención de elevadas temperaturas es obligatorio recurrir a colectores especiales, colectores de concentración, cuyo principio no es más que aumentar la radiación por unidad de superficie. Hay varias formas y sistemas, pero lo común a todos es que necesitan orientación.

Estos comprenden de las siguientes partes:

Superficie reflectora. Constituido por una lámina reflectora, normalmente Mylar, Hostafilon u otro plástico de características equivalentes, de la misma manera pueden ser de vidrio con recubrimiento de espejo, estos no son muy habituales, ya que tienen que sufrir las asperezas del medio y es dificultosa su producción de forma curvada. En cualquier caso, deben de tener una reflectividad superior al 95%.

Superficie absorbente. Dependen de la forma de la superficie reflectora, pero comúnmente son de forma cilíndrica o plana pintadas de negro o revestidas con una capa de material selectivo.

Cubierta protectora. Como su nombre indica protegen por lo general a la superficie absorbente y casi nunca a la superficie reflectora, el aislante habitual es el vacío.

Sistema de seguimiento. Puede ser de varios tipos:

- Longitudinal, de un eje, con movimiento de Este a Oeste.
- Latitudinal, de un eje, con movimiento de Norte a Sur.
- Completo, de dos ejes, puede orientarse en todas direcciones.

Podemos subrayar de estos que la parte más importante es la forma de la superficie reflectora y que pueden ser:

- Concentradores cilindro-parabólicos compuestos (CPC) formados por dos ramas de parábola, cuyos focos se localizan en el extremo de la rama opuesta.
- CPC sin trincar, son los que las ramas de parábola son simétricas,

cubriendo ángulos iguales a ambos lados de la superficie reflectora.

- CPC truncados, son los que las ramas de parábola no son simétricas, teniendo truncadas una o ambas ramas.
- Asimétricos, como indica su nombre, no tienen simetría con relación al eje del concentrador.
- Lentes de fresnel, que son una rama de las lentes plano-convexas paraboloides, que son los formados por un paraboloide, dotados de una geometría muy compleja de fabricar, llegando a tener una razón de concentración superior.

Ubicación de los sistemas de captación:

- Estanques solares.
- Disposición en tejados o azoteas.

Estanque solar: Los estanques solares son un sistema para la acumulación de energía solar en forma de calor de un modo sencillo.

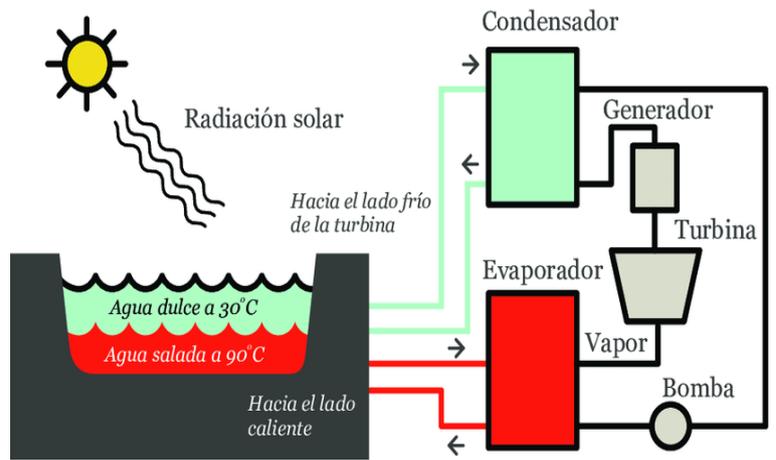


Fig 1.11 Planta de estanque solar

Fuente: (Romero-Hernández, 2011)

Estos estanques solares permiten la acumulación en extendidos periodos de tiempo, residen en: Lagos o estanques donde penetra la radiación solar, calentando el agua. El agua caliente al tener menor densidad que el resto del líquido, asciende por convección, que es el modo más común de transporte de calor en los fluidos. Si se imposibilita la convección, la zona de agua caliente no podrá ascender ni descender en la masa del líquido. Consiguiendo de esta forma acumular el agua caliente.

El estanque solar se compone de tres capas:

La capa superficial, que es convectiva a causa de la lluvia, viento, evaporación... La capa intermedia, que no es convectiva y es donde se concentra el agua caliente y La capa inferior, que es convectiva, comunicando calor al fondo del estanque o lago.



Fig. 1.12 Capa superficial de un estanque solar

Fuente: (González, 2014)

Para anular la convección se diluye sal cuya solubilidad no varía con la temperatura. El agua se distribuye por capas de salinidad, menor conforme este más en la superficie. Obteniendo un estanque con la superficie de agua dulce y el fondo salada. Por lo que, la densidad del agua es mayor a mayor profundidad. Al recibir la radiación solar, el agua salada se calienta más que el resto, disminuye su densidad, con lo que tendría tendencia a ascender. Pero como las capas superiores tienen densidades menores el agua caliente permanece inmóvil. igual ocurre al enfriarse.

Es difícil, la creación de un lago solar, ya que acarrea la utilización de un recurso natural y medioambiental, mucho más precioso que la energía que se pueda extraer de él. Instalaciones industriales con este tipo de sistemas, lo podemos encontrar donde de forma natural está, como en Israel, en el Mar Muerto donde hay instalada una planta que produce 150 kW.

Disposición en tejados o azoteas:

Las instalaciones centrales están formadas por "baterías" de colectores ya sea en serie o en paralelo, desde varios colectores como para un edificio pequeño

de viviendas o una piscina, hasta centenares de colectores para Hospitales, grandes hoteles que tienen grandes tanques de almacenamiento de agua. Gracias a la energía solar el agua logra la temperatura requerida, ahorrando el uso de combustibles fósiles y reduciendo la contaminación producida por los sistemas convencionales.

1.2.2 Energía solar fotovoltaica.

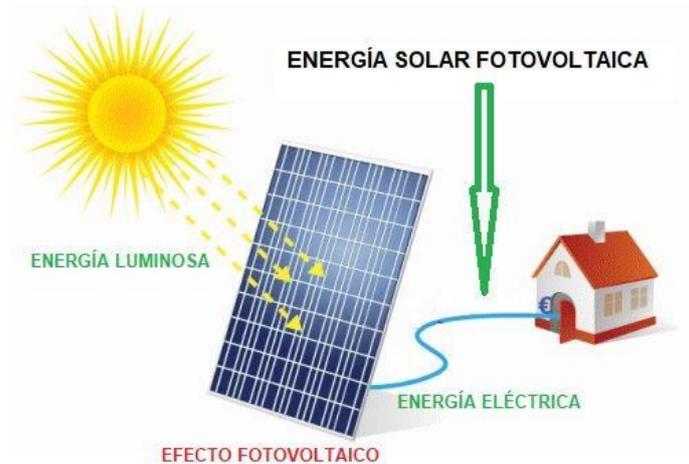


Fig. 1.13 Proceso energía fotovoltaica

Fuente: (Ingeoexpert, 2019)

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía renovable y, por tanto, inagotable, limpia y se puede emplear en el mismo lugar en que se produce. Además, está marcada por el desarrollo tecnológico de una forma lenta pero segura.

A diferencia de las aplicaciones anteriores, en las celdas solares la radiación solar no se transforma en calor, sino que se convierte directamente en electricidad, A través del llamado efecto fotovoltaico.

El efecto fotovoltaico reside en que la luz puede generar una corriente eléctrica (movimiento ordenado de electrones) al iluminar ciertos materiales. Fue descubierto en 1839 por el físico francés Alexandre Edmond Becquerel. A pesar de este adelantado descubrimiento, fue hasta la década de los años cincuenta del siglo XX que se halló un material que presentaba el efecto fotovoltaico de eficientemente: el silicio. Al principio, las celdas solares de silicio eran demasiado costosas como para usarlas de manera comercial. No obstante, se les encontró una aplicación ideal en la que su precio no era un obstáculo:

suministrar energía a los satélites. De este modo, la carrera espacial entre los Estados Unidos y la Unión Soviética, en los años sesenta, dio un significativo avance al mejoramiento de las celdas solares, cuyas eficiencias alcanzaron más allá del 15 por ciento; a la fecha han alcanzado hasta el 39 por ciento. Esto ha venido escoltado de importantes reducciones en sus costos. El efecto fotovoltaico se basa en el uso de materiales semiconductores. Éstos se caracterizan porque conducen la electricidad con menos eficacia que un metal, pero mejor que un aislante, pero sobre todo porque mejoran su capacidad para conducir la electricidad al ser iluminados.

Cuando incide luz sobre un semiconductor, la energía suministrada ayuda a darle mayor movilidad a algunos de los electrones presentes en el material, por lo que su capacidad para conducir la electricidad aumenta. Empero, para producir el efecto fotovoltaico no basta con liberar electrones. Es obligatorio que surja un voltaje que oriente a estos electrones en una dirección preferencial, generando una corriente eléctrica.

En los primeros años de la tecnología fotovoltaica estas aplicaciones fueron las que más progresaron. Sin embargo, hoy las aplicaciones que más están progresando son las de abastecimiento de electricidad a casas o edificios de oficinas ubicados en ciudades. Realmente, la industria fotovoltaica es una de las de más vertiginosa expansión alrededor del mundo, con tasas de crecimiento anual increíble en la última década; en medidas en que su producción se está duplicando cada dos años.



Fig. 1.14 Elaboración paneles fotovoltaicos

Fuente: (Noya, 2020)

La exploración en celdas fotovoltaicas es un área muy activa de la ciencia de materiales. Se investigan varios materiales distintos al silicio, y se busca reducir el costo de las celdas y mejorar su rendimiento.

1.2.2.1 El módulo fotovoltaico.



Fig. 1.15 Módulo fotovoltaico

Fuente: (pueblos, 2019)

La capacidad de generación eléctrica de una celda no da vasto para alimentar las cargas convencionales. Es necesario realizar agrupaciones en serie y paralelo para entregar tensión y corriente proporcionales a la carga eléctrica a alimentar. Un módulo fotovoltaico es una entidad conformada por celdas a las que se protege de la intemperie y se aísla eléctricamente del exterior, dando rigidez mecánica y durabilidad al conjunto.

Existe variedad de módulos diferentes, tanto por su conexión eléctrica como por sus particularidades estructurales y estéticas. A groso modo, la asociación de células es encapsulada en dos capas de etileno-vinilo-acetato, entre una lámina anterior de vidrio y una capa posterior de un polímero termoplástico u otra lámina de cristal cuando se desea obtener módulos con algún nivel de transparencia. Por lo general este conjunto es encuadrado en una estructura de aluminio anodizado para aumentar la resistencia mecánica y facilitar el anclaje del módulo a las estructuras de soporte.

El vidrio frontal debe asumir y conservar una alta transmisividad en la banda

espectral en la que son estimuladas las celdas solares. Conjuntamente, debe poseer buena resistencia al impacto y a la abrasión. Su superficie diseña de modo que comprenda un buen proceder antirreflexivo, normalmente se emplea vidrio templado con bajo contenido en hierro. Con la ausencia de desniveles que faciliten el depósito de suciedad o dificulten la limpieza de ésta a través de la acción compuesta del viento y la lluvia.

El encapsulante a base de EVA (etileno-vinilo-acetato), combinado con un procedimiento en vacío para las capas frontal y posterior, impide la entrada de humedad en el conjunto, señalada como el motivo principal de la degradación a largo plazo de módulos fotovoltaicos. Esta combinación también permite obtener altos niveles de aislamiento eléctrico.

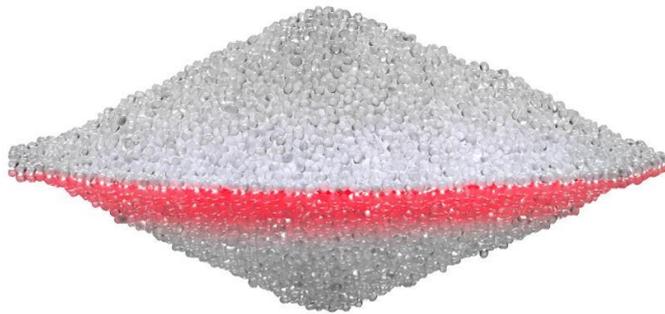


Fig. 1.16 Encapsulante a base de EVA

Fuente: (Repsol, 2019)

Hasta hace poco, la conexión eléctrica empleaba 36 celdas en serie para obtener módulos con potencias comprendidas en el rango 50 W – 100 W con voltajes cercanos a los 15 Vdc en funcionamiento. Estos módulos eran convenientes para su acoplamiento con baterías de tensión nominal 12 V en los sistemas aislados de electrificación rural. Con el protagonismo abrumador de los sistemas fotovoltaicos de conexión a red, este esquema de conexión ha perdido validez. Ahora son de uso habitual los módulos de potencia superior a los 200 W y voltajes en el rango 30 – 50 Vdc.

Para los módulos de celdas de silicio cristalino es de aplicación la norma internacional la cual recoge los requisitos de diseño y construcción de módulos fotovoltaicos terrestres adecuados para su funcionamiento en períodos prolongados de tiempo bajo los efectos climáticos.

También, esta norma puntualiza el procedimiento de ensayos a los que se debe someter el módulo que desee para poder contar con la certificación asociada a esta normativa.

1.2.2.2 Modelado de un módulo.

Para modelar el funcionamiento de un módulo ejecutaremos las siguientes consideraciones:

- Los valores de la resistencia paralelo son despreciables.
- La resistencia serie es independiente de las condiciones de operación.
- La corriente fotogenerada (I_L) es igual a la corriente de cortocircuito.
- En cualquier condición de operación $\exp((V+I \cdot R_s) / V_t) \gg 1$.

V – voltaje

I – corriente

R_s – resistencia serie

V_t – potencial térmico

En un módulo compuesto por N_{cs} numero de celdas en serie y N_{cp} numero de ramas en paralelo, y suponiendo que las celdas que lo forman son idénticas, el voltaje del módulo es $V_m = N_{cs} \cdot V_c$ y la intensidad de corriente del módulo es $I_m = N_{cp} \cdot I_c$, donde V_c e I_c son respectivamente el voltaje y la intensidad de corriente de una celda.

Bajo estas suposiciones, la curva característica de un módulo es:

$$I_m = I_{sc} \cdot (1 - (\exp (V_m - V_{oc} + I_m \cdot R_s) / V_t)) \quad 1.1$$

Como ocurría con la celda, admitamos que la corriente de cortocircuito depende de forma lineal de la irradiancia y la tensión de circuito abierto depende exclusivamente de la temperatura de célula, y decrece lineal-

mente con ella:

$$I_{sc} = G_{ef} \cdot I_{sc}^* / G_{stc} \quad 1.2$$

I_{sc} Corrientes de cortocircuito

V_{oc} voltaje de circuito abierto

$$V_{oc}(T_c) = V_{oc}^* + (T_c - T_c^*) \cdot dV_{oc}/dT_c \quad 1.3$$

Si no hay información por parte del fabricante, para módulos de silicio cristalino es habitual el valor:

$$dV_{oc}/dT_c = -2,3 \text{ mV/celula } ^\circ\text{C} \quad 1.4$$

1.2.2.2.1 Comportamiento térmico del módulo.

En las ecuaciones previas se hace referencia a las condiciones estándar de medida. En estas condiciones, la temperatura de celda es de 25 °C. Sin embargo, la temperatura de operación de la celda depende del balance de potencias del módulo.

El módulo recibe energía luminosa, absorbiendo la fracción que no es reflejada al exterior. Las celdas transforman parcialmente en electricidad la radiación efectiva, mientras que el resto de la energía no aprovechada debe ser entregada en forma de calor al entorno. El mecanismo principal para la disipación del calor en los paneles planos terrestres es la convección. Los procesos radiativos son secundarios, aunque no despreciables. Este balance queda recogido en la ecuación

$$A_c \cdot G_{ef} = P_c + P_Q \quad 1.5$$

Siendo:

- A_c el área de la célula
- G_{ef} la irradiancia efectiva en la celda
- P_c la potencia eléctrica entregada por la celda
- P_Q la potencia calórica disipada al entorno.

Cuando la celda en cuestión funciona correctamente el criterio de signos supone un valor positivo para la energía eléctrica. La temperatura de la celda en relación a la temperatura ambiente puede determinarse de forma aproximada a partir de la potencia calórica con la ecuación:

$$T_c = T_a + \xi \cdot P_Q \quad 1.6$$

Siendo

- ξ el coeficiente térmico del laminado, que puede ser estimado a partir de una constante
- C_T y el área de la célula, $\xi = C_T/A_c$.

Una simplificación consiste en asumir que el incremento de la temperatura de la celda respecto al ambiente depende linealmente de la irradiancia incidente. El coeficiente de proporcionalidad depende de muchos factores, tales como el modo de instalación del módulo, la velocidad del viento, la humedad ambiente y las características constructivas del laminado.

Estos factores quedan recogidos en un valor único representado por la temperatura de operación nominal de la celda (NOCT o TONC), definida como aquella que alcanza una célula cuando su módulo trabaja en las condiciones nominales.

- Irradiancia: $G = 800 \text{ W/m}^2$
- Espectro: el correspondiente a $AM = 1,5$.
- Incidencia normal.
- Temperatura ambiente: $T_a = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Velocidad de viento: $v_v = 1 \text{ m/seg}$.

La ecuación expresa una aproximación aceptable del comportamiento térmico de una célula integrada en un módulo en base a las consideraciones previas, donde las unidades de la radiación efectiva son W/m^2 :

$$T_c = T_a + G_{\text{ef}} \cdot (\text{NOCT} - 20)/800 \quad 1.7$$

Punto caliente

Las características eléctricas de las celdas que componen una agrupación son siempre diferentes. Esta dispersión de parámetros altera el funcionamiento ideal descrito por las ecuaciones previas. Cuando en una agrupación serie una de las células es incapaz de alcanzar el mismo nivel de fotocorriente que el resto, ya sea por sus diferentes características, avería o por sombreado, su funcionamiento queda gravemente alterado y, bajo determinadas condiciones, puede ocasionar la avería del módulo.

Cuando esta agrupación serie sea acoplada a una carga quedará polarizada en un rango de voltajes, lo que ocasionará que cada celda trabaje en unas condiciones específicas.

Al presentar la ecuación 1.5 indicábamos que la potencia eléctrica adquiriría signo positivo y, por tanto, disminuía el valor de la potencia calórica a disipar.

No obstante, en este caso la potencia eléctrica es negativa lo que implica un incremento en el calor a disipar. La consecuencia inmediata de este modo de funcionamiento es la elevación de su temperatura respecto al conjunto de células del módulo, pudiendo dañar gravemente los materiales encapsulantes que la rodean. Por este motivo, esta avería es conocida como “punto caliente”.

Diodo de paso

Para proteger a la célula es necesario habilitar un camino alternativo de corriente y así evitar que trabaje como un receptor de la potencia del resto de la agrupación. Un método frecuentemente empleado consiste en incluir diodos de paso conectados en paralelo con la agrupación serie para evitar el punto caliente.

Con la inclusión de los diodos de paso, la curva corriente-tensión de la agrupación difiere sensiblemente de la ideal cuando aquellos se activan.

El análisis del “punto caliente” recogido en la literatura ha estado ligado comúnmente a células averiadas o afectadas por sombra. En tiempos recientes se ha puesto de manifiesto la problemática asociada a ciertos niveles de dispersión de parámetros de células en un mismo módulo. En determinadas condiciones, el funcionamiento de este tipo de módulos también provoca la aparición de puntos calientes con gradientes elevados de temperatura, recortando así su vida útil.

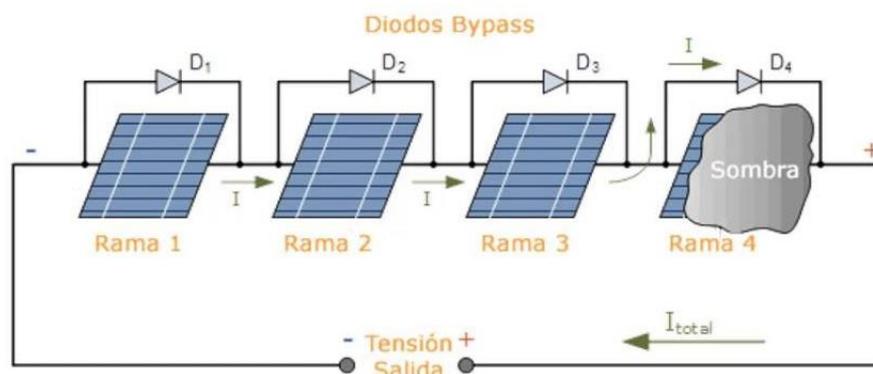


Fig. 1.17 Diodos de Bypass

Fuente: (Sde, 2018)

1.2.2.3 Generador Fotovoltaico

Un generador fotovoltaico es una agrupación eléctrica de módulos fotovoltaicos para adecuarse a las condiciones de trabajo de una aplicación determinada. Se compone de un determinado número de modulos, siendo el número de ramas (series en conexión paralelo) N_p y N_s el número de módulos en cada serie. El número de ramas define la corriente total del generador, $I_g = N_p \cdot I_m$, y el número de módulos por serie define la tensión del generador, $V_g = N_s \cdot V_m$.

Al tener en cuenta las condiciones reales de los módulos que componen un generador fotovoltaico es de carácter ineludible considerar un fenómeno que modifica estos cálculos: las pérdidas por dispersión.



Fig. 1.18 Generadores solares

Fuente: (Sanchez, 2021)

Pérdidas por dispersión.

Nunca son puntualmente iguales los parámetros eléctricos de los módulos fotovoltaicos que conforman un generador. La dispersión de estos parámetros provoca que la potencia eléctrica total sea inferior a la suma de las individuales. Para proceder con el cálculo que describa la conducta de un generador, tendríamos que utilizar metodos de análisis estadístico. Según (Ziles, 1993) la corriente de máxima potencia de un conjunto de módulos puede caracterizarse por una distribución tipo Weibull: siendo α el factor de forma y β el factor de escala de la distribución. Puede demostrarse que la tensión de un grupo de módulos puede modelarse mediante una función gaussiana y que la dispersión de valores de tensión es suficientemente baja

para poder considerar que la eficiencia de conexión de ramas en paralelo es igual a 1.

Debido a las pérdidas por dispersión es conveniente el uso de series cortas. No obstante, esta elección involucra trabajar con tensiones bajas que acarrearán a grandes secciones de cableado en sistemas de gran potencia.

De la misma manera, la eficiencia se acrecienta con el factor de forma α . La dispersión de valores de un conjunto modelado por una distribución tipo Weibull depende inversamente del valor de α . Por tanto, una técnica para reducir las pérdidas por dispersión radica en efectuar clasificaciones de los módulos teniendo en cuenta a sus valores de corriente. Puede ser provechoso realizar una clasificación en dos o tres categorías y acomodar cada rama con módulos apropiados a una misma categoría. De esta forma se puede llegar a reducciones del 2-3 % en las pérdidas totales del sistema.

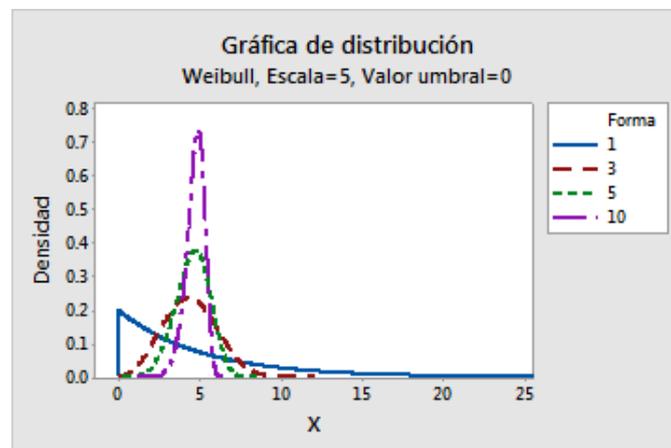


Fig. 1.19 Gráfica distribución de Weibull

Fuente: (Minitab, 2020)

La base para ejecutar las clasificaciones es la información entregada por el fabricante de los módulos. Esta información (habitualmente conocida como “flash-list”) reside en el conjunto de datos eléctricos para cada uno de los módulos. Estos datos se miden en una cámara oscura en la que se sitúa el módulo para iluminarlo durante un breve lapso de tiempo (de ahí el nombre de “flash”) simulando su comportamiento real frente a la luz solar. La indeterminación coligada a este método en relación a las medidas a sol real son del mismo rango que la separación entre categorías.

Como ha sido manifiesto recientemente en el contexto de controles de calidad de plantas fotovoltaicas, medidas que traen consigo un error asociado que reducen su campo de aplicación para la confección de las categorías. En esta práctica se comprobó que la desviación estándar de las diferencias entre los valores recogidos en el “flash-list” y los obtenidos a sol real era similar a la anchura de las categorías necesarias para clasificar los módulos. Por lo que la clasificación es aconsejable desde el punto de vista teórico, su práctica queda cuestionada cuando emplea como material las medidas tipo “flash”.

1.2.2.4 Sistemas Fotovoltaicos de Conexión a Red.

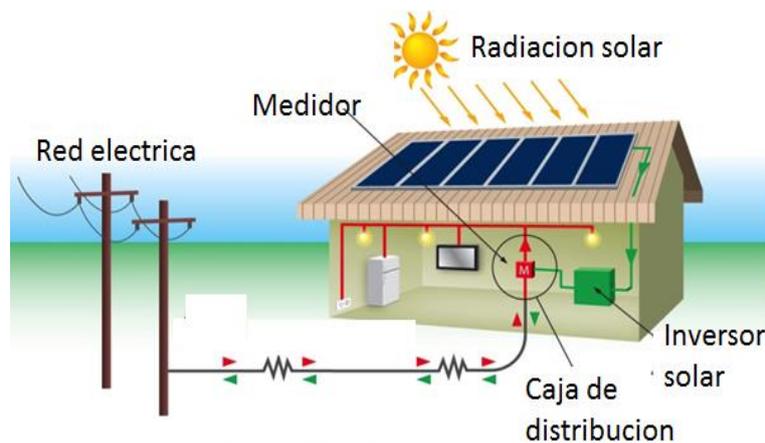


Fig. 1.20 Energía solar conectada en red

Fuente: (Sopelia, 2020)

Un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR) es un sistema cuya función es producir energía eléctrica en condiciones adecuadas para poder ser inyectada en la red eléctrica convencional. Un SFCR se compone del generador fotovoltaico, un inversor DC/AC y un conjunto de protecciones eléctricas.

La energía producida por este sistema será consumida parcial o totalmente en las cercanías, y la energía sobrante será inyectada en la red para su utilización en otros puntos de consumo. Debido a esto existen normas para la retribución económica que indemnizan al propietario del sistema por la energía que su sistema intercambia con la red. Pueden distinguirse, de forma simplificada, dos esquemas: la retribución con prima (feed-in tariff) y el balance neto (net-metering).

En el mecanismo de retribución con prima¹, por lo general el propietario del SFCR toma ingresos procedentes de la energía total originada (independientemente de la que haya sido consumida en las cercanías del SFCR). En tal caso, el diseño no precisa tener en cuenta un consumo a satisfacer, como sí será el caso en los sistemas autónomos o de bombeo. Con este mecanismo, el objetivo del diseñador es que la producción anual del sistema sea la máxima posible sin pensar en los consumos cercanos (siendo posible instalar un SFCR sin ningún consumo asociado).

Esto favorece la creación de los sistemas fotovoltaicos cuando el coste de la energía producida es superior al de la tarifa eléctrica de la red existente (sin tener en consideración las externalidades ambientales). No obstante formalmente beneficia la generación distribuida y disminuyendo las pérdidas de energía asociadas a la distribución y transmisión de la red, sin ningún condicionante adicional puede ocasionar un crecimiento desordenado que disocie las ubicaciones de los sistemas fotovoltaicos de los centros de consumo.

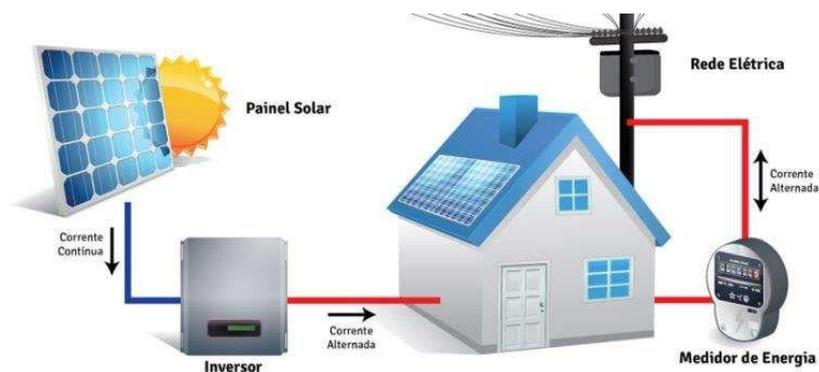


Fig. 1.21 Esquema simplificado de un SFCR

Fuente: (Morais, 2017)

El segundo mecanismo, de balance neto, compensa los saldos de energía eléctrica entre el SFCR y el sistema de consumo asociado. Cuando la producción del SFCR supera al consumo, la red eléctrica absorbe el excedente puntual, generándose derechos de consumo diferido para el propietario del SFCR. Estos derechos de consumo se pueden profesar cuando la generación del SFCR no es la necesaria para compensar el consumo asociado. La

interacción entre el SFCR, el consumo y la red bajo este mecanismo de retribución beneficia la generación distribuida y la gestión de la demanda. El diseño de un SFCR de este mecanismo debe contener el consumo asociado como una variable adicional que estipulará las dimensiones del generador.

A no ser que se evidencie se supondrá que el SFCR se encuadra en un mecanismo de retribución con prima y, por lo que se obviará el consumo asociado.

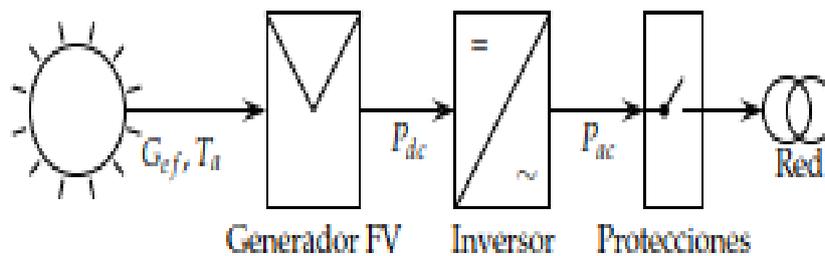


Fig. 1.22 Esquema De Un Generador Conectado A La Red.

Fuente: Investigador

Características entre SFCR sobre suelo y en edificación.

Generalmente se diferencian entre SFCRs instalados sobre suelo y en edificación. Dentro de los instalados sobre suelo existen los sistemas con una inclinación y orientación fija, y los sistemas de seguimiento, que modifican la posición del generador a lo largo del día y año para maximizar la radiación efectiva incidente.

Instalados sobre edificación.

En los instalados sobre edificación es habitual diversificar los sistemas según el grado de integración del sistema con la edificación. Así, el documento del Código Técnico de la Edificación comprende tres casos en lo que a disposición de módulos se refiere: general, superposición de módulos e integración arquitectónica. Se entiende que existe integración arquitectónica cuando los módulos desempeñan una doble función energética y arquitectónica y además sustituyen componentes constructivos. Se entiende que ocurre superposición arquitectónica cuando la colocación de los módulos se realiza paralela a la

envolvente del edificio.

SFCR sobre suelo



Fig. 1.23 SFCR sobre suelo.

Fuente: (project, 2017)

El diseño de un SFCR sobre suelo tiene como objetivo maximizar la producción energética anual del sistema con el menor coste y la menor ocupación de terreno posibles. Como primera clasificación diferenciaremos entre los sistemas estáticos, aquellos cuya inclinación y orientación persisten inmóviles, y los sistemas de seguimiento (móviles).

El principio de funcionamiento de los sistemas de seguimiento es doble: primero, la radiación incidente aumenta al seguir al sol; además, las pérdidas por reflexión se reducen si el apuntamiento al sol mejora.

Por ende, el objetivo de estos sistemas es reducir el ángulo formado entre la línea que une el generador con el sol y la perpendicular al plano del módulo y así seguir al sol a lo largo de su movimiento celeste. Las disímiles técnicas de seguimiento persiguen concretar ese objetivo general sacrificando un apuntamiento perfecto en aras de conseguir sistemas más económicos y de mejores explotaciones del terreno.

Siendo el método de seguimiento más favorable desde la perspectiva de la producción eléctrica el llamado a doble eje, que consigue apuntar al sol con precisión a lo largo de todo su recorrido. En el siguiente puesto de los que perfeccionan la generación destaca el seguimiento acimutal, que sacrifica un movimiento (inclinación del generador) para conseguir sistemas más

económicos. El método consiste en girar de este a oeste sobre un eje vertical. Su uso está menguando en comparación al método de doble eje. Otro planteamiento diferente es el utilizado por el seguimiento polar. El único eje sobre el que se produce el giro está inclinado de forma paralela al eje de rotación de la Tierra, logrando que el generador salga al sol como perpendicular a sus rayos durante gran parte del recorrido. Empero, los obstáculos estructurales y de giro, y la dificultad de su establecimiento en grandes plantas han llevado a que su uso sea ocasional. Por último, se debe hacer alusión al método de seguimiento horizontal con eje Norte-Sur. Sus ventajas son la simplicidad y estabilidad estructural (el eje es horizontal y paralelo al terreno, con tantos puntos de apoyo como se crean necesarios), la práctica de motorización, así como el mejor beneficio del terreno en relación a un sistema de doble eje.

El mejor beneficio de terreno pende claramente del porcentaje de radiación que quedará sombreada por los seguidores cercanos, lo que se conoce como sombras mutuas. Cuanto más preciso es el método de seguimiento, menos eficiente es su beneficio de terreno: para un mismo valor de radiación sombreada, el alejamiento entre seguidores aumenta en sistemas que apuntan mejor.

De ahí que los sistemas estáticos sean la opción preferida cuando el terreno utilizable es limitado y se desee alcanzar una potencia instalada determinada o limitar la inversión económica a costa de reducir la productividad del sistema. Teniendo en cuenta que en un SFCR sobre suelo el objetivo es obtener el mínimo coste de la energía durante su vida útil con la mínima ocupación de terreno, el diseñador debe configurar el generador (principalmente su tamaño y tipo de seguimiento) teniendo en cuenta al menos tres elementos:

- La inversión relacionada principalmente con la potencia del generador y con el tipo de seguimiento empleado.
- El beneficio económico deseado, afín con la energía producida por el sistema y, por ende, con el modo de seguimiento empleado y con la radiación disponible.
- La ocupación de terreno, afín con el modo de seguimiento empleado.

Es realmente difícil instituir recomendaciones a la aplicación universal. En parte se presenta un método para optimizar la distancia entre seguidores tomando en cuenta las consideraciones previas.

Los sistemas de seguimiento han proliferado en los últimos años. Sin embargo, debido a un contexto reciente de bajos precios de módulos, ya no son la elección más habitual: la mayor producción ofrecida ya no supera tan largamente sus contraprestaciones de mayor ocupación de terreno y su mayor inversión.

Los sistemas instalados sobre suelo asiduamente superan la potencia de 100 kW, y hasta los 50 MW, por tanto, frecuentan contar con una instalación de evacuación en Media Tensión (MT). En este tipo de SFCR una parte significativa del trabajo de ingeniería se consagra al diseño del sistema de interconexión de los módulos para constituir el generador, el sistema eléctrico que enlaza el generador con los equipos inversores, el sistema de evacuación a red de la energía producida y la red de tierras.

SFCR en edificación.



Fig. 1.24 SFCR en edificación.

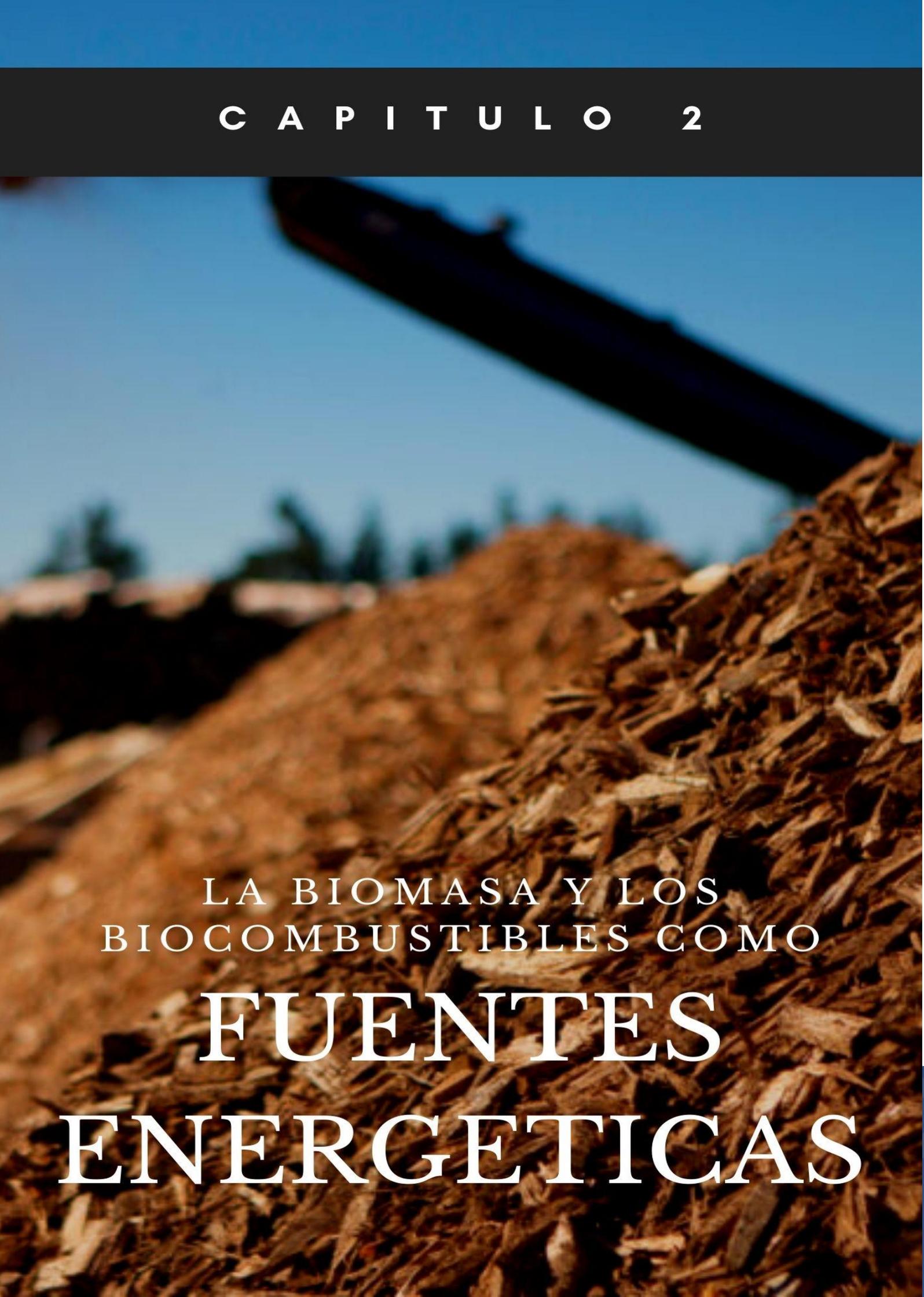
Fuente: (sun, 2017)

El diseño de un SFCR en edificación es comúnmente más complejo que el de un SFCR sobre suelo. La integración del sistema fotovoltaico con el edificio requiere tomar en consideración diversos factores que estipulan la ubicación

y la configuración del generador. Así de la misma manera, la orientación e inclinación del generador ya no puede ser designada para optimizar la producción energética, sino que las características propias del edificio y de los elementos que comprenden exigen optar por ángulos que difieren del óptimo. En este tipo de sistemas, el diseñador debe tomar las decisiones acertadas para producir las sinergias entre edificio y sistema fotovoltaico, disminuyendo las interferencias entre uno y otro.

Como podría ser un generador fotovoltaico instalado como toldo fijo sobre ventanas, casi eliminando la insolación que entra en el edificio y por ende, disminuyendo la carga térmica en el mismo. La ubicación del generador estará definida por la orientación de la fachada que se pretende sombrear, su inclinación será un débito entre la producción energética del SFCR y la cantidad de sombra deseada, y el tamaño del generador dependerá del área a sombrear

C A P I T U L O 2



LA BIOMASA Y LOS
BIOCOMBUSTIBLES COMO
FUENTES
ENERGETICAS

Tabla de contenido

- La biomasa y los biocombustibles como fuentes energéticas.
- Clasificación.
- Biocombustibles sólidos.
- Biocombustibles líquidos.
- Biocombustibles Gaseosos.

Copyright 2021

CIENCIA DIGITAL EDITORIAL

Ecuador - Ambato

Prohibida la reproducción total o parcial
sin autorización.

La redacción de este UNIDAD TEMÁTICA estuvo a cargo de:

Ing. William Armando Hidalgo Osorio. M.Sc.

Ing. Paco Giovanni Vasquez Carrera M.Sc.

Ing. Guido Gabriel Carrillo Velade M.Sc.

Ing. Franklin Germanico Vasquez Carrera M.Sc.

Digital en PDF: Ciencia Digital Editorial

Teléf. (595)032-511-262

<http://libros.cienciadigital.org/index.php/CienciaDigitalEditorial>

www.cienciadigitaleditorial.com

CAPITULO 2

2 LA BIOMASA Y LOS BIOCOMBUSTIBLES COMO FUENTES ENERGETICAS.

Como concepto de biomasa se determina a un conjunto múltiple de materias orgánicas, tanto por su origen como por su naturaleza y composición, que puede utilizarse para obtener energía. La energía que acumula la biomasa tiene su origen en el sol: a partir del proceso de fotosíntesis, las plantas absorben energía luminosa del sol, agua del suelo el CO₂ de la atmósfera, acumulando en ellas sustancias orgánicas (energía) y liberando oxígeno durante el proceso.

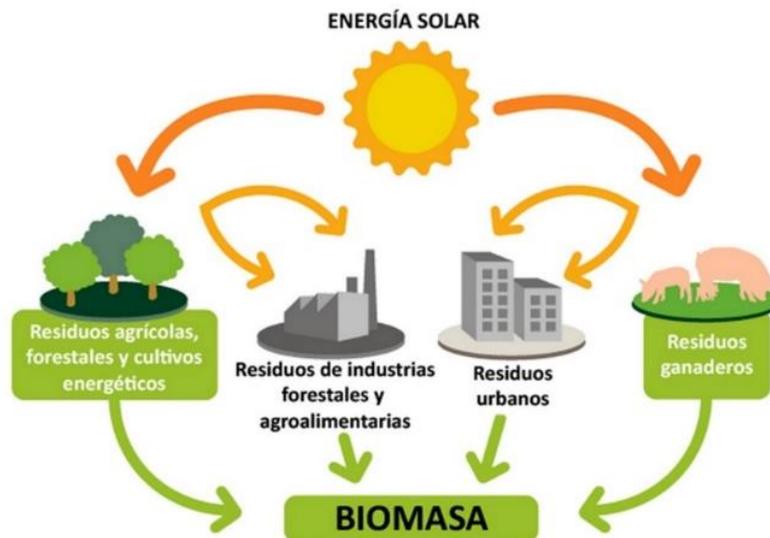


Fig. 2.1 Biomasa

Fuente: (Pinterest, 2014)

Luego, los animales incorporan esta energía al alimentarse de las plantas, por lo que los productos de resultantes en este proceso, que se consideran residuos pueden ser utilizados como un recurso energético. Igualmente se

considera como biomasa la materia orgánica de las aguas residuales, y la parte orgánica biodegradable de los residuos sólidos urbanos, por las características específicas de estos residuos se suelen tomar como un conjunto aparte. La biomasa producida en un proceso biológico, espontáneo o inducido, tiene carácter de energía renovable puesto que su contenido energético procede en última instancia de la energía solar adherida por los vegetales en el proceso fotosintético. Al descomponer los enlaces de los compuestos orgánicos, por combustión de productos derivados o por combustión directa de biomasa a través de transformaciones físicas o químicas, obteniéndose dióxido de carbono y agua, se libera energía. Los productos originados de la biomasa empleados para fines energéticos se denominan: biocombustibles, especialmente a aquellos sólidos y gases, que se dedican a fines térmicos y eléctricos.

2.1 Clasificación:

Biomasa natural: Se produce de forma espontánea en la naturaleza, sin intervención humana.



Fig. 2.2 Biomasa natural

Fuente: (Ecoticias, 2017)

Biomasa residual sólida: Procede de recursos generados en las actividades agrícolas y forestales, así como en las industrias agroalimentaria y maderera



Fig. 2.3 Biomasa residual solida

Fuente: (Roca, 2016)

Biomasa residual liquida: Procede de vertidos biodegradables formados por aguas residuales urbanas e industriales y también de los residuos ganaderos

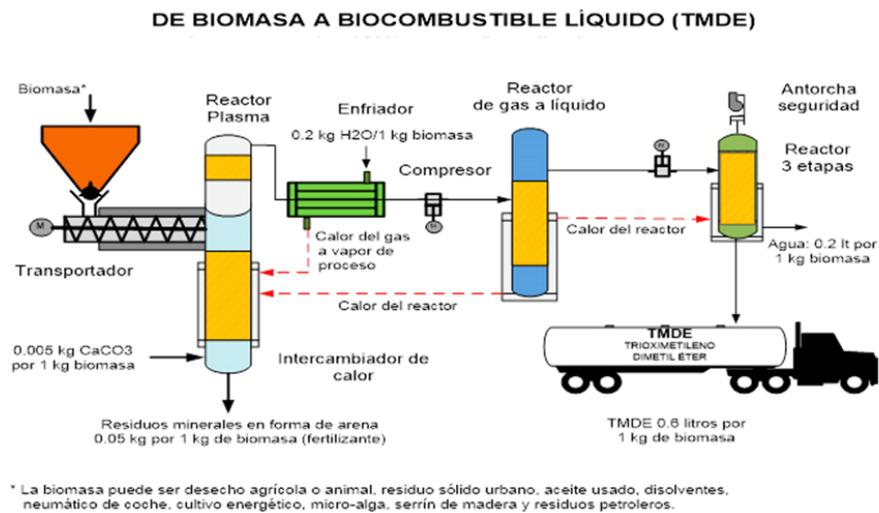


Fig. 2.4 Biomasa residual liquida

Fuente: (MS, 2015)

Cultivos energéticos: Su objetivo es producir biomasa convertible en combustible. Incluye los cereales, oleaginosas, remolacha y los cultivos lignocelulósicos.



Fig. 2.5 Cultivos Energéticos

Fuente: (Bellido & López, 2015)

La denominación de biocarburantes se reserva para los productos, normalmente líquidos, que proceden de la biomasa y se destinan a la automoción. Este tipo de productos tienen una importancia especial debido al gran consumo de carburantes derivados del petróleo para el transporte. Los actuales motores, Diesel y Otto, requieren combustibles líquidos cuyo comportamiento sea similar al del gasóleo y al de la gasolina. Se utilizan diferentes criterios para clasificar los biocombustibles que pueden obtenerse a partir de la biomasa. Considerando el proceso de transformación de la biomasa en biocombustible, existen varias opciones como las que se comentan en los siguientes ejemplos. Únicamente transformaciones físicas antes de la combustión, caso de la madera, de la paja o de residuos originarios de otras actividades que emplean biomasa (poda de árboles, restos de carpintería, etc.). Fermentación anaeróbica de una mezcla de azúcares y agua para conseguir una mezcla de alcohol y agua con emisión de dióxido de carbono. Esta mezcla se destila para obtener el alcohol con la concentración del agua que exige su empleo como carburante.

Transesterificación de los triglicéridos originarios de aceites vegetales y grasas animales con metanol para obtener una mezcla de ésteres, previa separación de la glicerina, cuyo proceder como carburante es similar al diesel.

Metalización de residuos orgánicos para adquirir biogás y un sólido que puede utilizarse como abono orgánico para los suelos. Otro criterio cataloga los biocarburantes en generaciones permitiendo contener en cada una de ellas varios elementos con el objetivo de instaurar diferencias entre los diferentes

productos. Los biocarburantes de primera generación emplean materias primas de uso alimentario (caña de azúcar, maíz, girasol) y fermentación (para obtener etanol) o transesterificación (para biodiesel) a modo de métodos de proceso. Los de segunda generación emplean materias primas de tipo herbáceo (celulosa) en el caso de etanol y semillas oleaginosas no comestibles (jatrofa, cardo), algas y aceites usados para biodiesel, diferenciándose de la primera generación al no tener usos en alimentación. Los procesos practicantes son la fermentación y la transesterificación, ambos acomodados a las nuevas materias primas, y métodos termoquímicos para obtener biocombustibles sintéticos líquidos.

Se les denota de tercera generación a los carburantes derivados de cultivos bioenergéticos, cultivos concretamente diseñados o “adaptados” (técnicas de biología molecular) para optimar la transformación de biomasa (p.e. árboles de menor contenido en lignina) en biocarburantes. Los carburantes de cuarta generación son cuando se suma la capacidad, tanto de la materia prima como del proceso de transformación, de mejorar la captura y almacenamiento de dióxido de carbono.



Fig. 2.6 Cultivo de microalgas al aire libre (desuso) y en la actualidad

Fuente: (Biomara, 2015)

Ante la crisis de la energía fósil, carestía del petróleo, vulnerabilidad del suministro de estas materias primas o amenazas del calentamiento global, el

empleo de la biomasa como fuente de energía aporta una serie de posibilidades como el balance positivo CO₂ y de energía, el empleo de suelos primitivamente no productivos, la creación de empleo rural y las mejoras en la balanza de pagos de los países con mayores necesidades de energía.

Cuando las emisiones de CO₂ (efecto invernadero) derivadas como resultado de la utilización de los biocombustibles con fines energéticos se igualan al carbono que anteriormente se había absorbido producto de la fotosíntesis, se igualan la retención y la liberación de dióxido de carbono equivalente a un promedio resultante nulo. Por lo que el uso de biomasa o de sus derivados puede considerarse neutro en términos de emisiones. Tal es el caso de los usos tradicionales (uso de los restos de poda como leña, cocinas, calefacción, etc.) si no se supera la capacidad de carga del territorio.

En los procesos industriales, como resulta necesario el empleo de otras fuentes de energía (en la construcción de la maquinaria, en el transporte de materiales, en el empleo de maquinaria agrícola durante el cultivo de materia prima, en la fabricación de fertilizantes y pesticidas, en las operaciones necesarias para las transformaciones, etc.), hay que registrar las emisiones procedentes por cada una de ellas.

Además, se produce la emisión de otros gases de efecto invernadero como óxido nitroso o metano, en cuyo caso hay que incluir su contribución como CO₂ equivale a las emisiones de este gas. El balance neto de energía (BNE) de los biocombustibles, relación entre el contenido energético del producto y energía gastada en su producción, es menor al de los combustibles fósiles. Mientras que esta relación es elevada cuando se obtiene energía directamente de la biomasa, se reduce significativamente cuando se trata de biodiesel y bioalcohol. Los valores son orientativos ya que estriban de la materia prima y de la tecnología utilizada. Por ejemplo, el bioalcohol puede tener valores de 1,5 si procede de maíz, de 12 si se adquiere de caña de azúcar y superiores si resulta de los azúcares fermentables liberados de la pared celular.

El análisis de emisiones de CO₂ y del balance energético de los biocombustibles puede ampliarse a otros efectos ambientales tales como el impacto sobre la biodiversidad, el desempeño hidrológico o la protección del

suelo. Debido a las problemas e incertidumbres de estos estudios, existe una gran diferencia de criterios sobre el comportamiento ambiental de la biomasa.

La biomasa natural, leña originaria de árboles desarrollados naturalmente (sin intervención del ser humano) en tierras no cultivadas, ha sido empleada tradicionalmente por el hombre para calentarse y cocinar. No obstante, este tipo de biomasa no es la más conveniente para un beneficio energético masivo ya que es una reserva de inmenso valor para la humanidad.

Al ser esta biomasa natural el pedestal del consumo energético de muchas poblaciones en vías de progreso, se origina un aumento de la presión sobre los ecosistemas naturales, alcanzado, al aumentar su población y con esto su demanda de energía, un sobreconsumo que ocasionaría condiciones de desertización. En su lugar se aprovecharía, conservando el equilibrio y la estabilidad de los ecosistemas, los residuos de las partes muertas o los restos de podas y aclareos- evitando, también, probables incendios de aglomeraciones forestales.

Cualquier causa que utilice biomasa para obtener productos predestinados al consumo creará biomasa residual. Las explotaciones agrícolas, forestales o ganaderas, industrias de productos vegetales y núcleos urbanos son generalmente productores de biomasa residual. Su utilización es seductora pero limitada; en el tratamiento de estos materiales es más importante el resultado ambiental que envuelve su gestión que su beneficio energético. No obstante, las instalaciones que utilizan la energía de sus propios residuos tales como granjas, industrias papeleras, serrerías o depuradoras urbanas, logran ser energéticamente autosuficientes.

Los cultivos energéticos, realizados con el propósito de engendrar biomasa en lugar de producir alimentos son una alternativa en países como Brasil y Estados Unidos. Estados Unidos orienta el cultivo del maíz hacia la elaboración de bioetanol mientras que Brasil desempeña el equivalente con la caña de azúcar.

En Europa, el etanol se origina de remolacha o de cereales y los ésteres procedentes de aceites de colza o de girasol componen los biocarburantes de

mayor auge. El excedente de fincas de cultivo hace atrayente una acción agraria, adicional a la que normalmente se reserva a fines alimentarios, consagrada a la obtención de energía. Los cultivos más beneficiosos son los que a corto plazo contribuyen a una mayor productividad de biomasa lignocelulósica, eucaliptos, acacias, chopos, ciertas diversidades de cardos, etc. Además, los excedentes de algunos productos agrícolas se reservan a su transformación en biocarburantes, y sólo por motivos sociales o por el excelso precio de los carburantes, es rentable su ocupación con fines energéticos.

A pesar de la gran diversidad de materias primas que se emplean para fabricar estos carburantes, la tecnología actual sólo los adquiere a partir de productos vegetales que además son empleados para la alimentación. Esta singularidad hace que la comercialización de los biocarburantes tome parte en dos mercados, cada uno competentemente complejos, el agrícola y el energético.

2.1.1 Biocombustibles sólidos.

Los biocombustibles sólidos más significativos, combustibles de tipo primario, son los formados por materiales lignocelulósicos provenientes del sector agrícola o forestal y de las industrias de transformación que causan este tipo de residuos. La paja, los restos de poda de vid, olivo o frutales, la leña, las cortezas y los restos de podas y aclareos de las masas forestales son materia prima empleada en la producción de biocombustibles sólidos de origen agrario.



Fig.2.7 Residuos De Tratamientos Forestales Y Agroindustriales (Cascara De Almendra).

Fuente: Investigador

Cáscaras de frutos secos, huesos de aceitunas y de otros frutos, residuos naturales de la extracción del aceite de orujo, restos de las industrias del corcho, la madera y el mueble, componen una materia prima de calidad para su utilización como biocombustible sólido.

Como causa de la combustión de esta biomasa se adquiere energía que es aprovechada directamente como energía térmica o se utiliza en la generación de energía eléctrica. La peculiaridad más específica de su calidad es la potencia calorífica inferior, inconstante por la humedad del combustible, en la tabla 1 se muestran valores de la potencia calorífica de algunas biomásas con distinta humedad.

BIOMASA	SECA	10% Humedad	15% Humedad
Paja cereal	4.000	3.600	3.300
Sarmientos de vid	4.200	3.300	2.300
Ramas coníferas	4.600	3.600	2.500
Ramas frondosas	4.200	3.300	2.300
Cortezas coníferas	4.700	3.600	2.600
Cáscara de almendra	4.400	3.900	3.700
Cáscara de cacahuete	3.900	3.500	3.300
Serrín/viruta, conífera	4.900	4.500	3.800

Fig. 2.8 Potencia Calorífica Por Diferentes Porcientos De Humedad.

Fuente: Investigador

Otras peculiaridades significativas para su comercialización son la densidad, la dispersión en el terreno y la distancia al lugar de explotación. Si bien una parte sustancial de la biomasa se utiliza directamente, como la leña en hogares y chimeneas, las más recientes aplicaciones de los biocombustibles sólidos se fundan en un procedimiento capaz de condicionarla a las exigencias de la demanda. Las formas más divulgadas de utilización de este tipo de combustible son astillas, serrín, pellets y briquetas.

Las astillas son un material apropiado para ser utilizado en hornos cerámicos, de panadería, viviendas individuales, calefacción centralizada de núcleos rurales o pequeñas industrias. Se adquieren a partir de los restos leñosos de los procedimientos silvícolas, de las operaciones de corte de madera o de las podas de árboles de cultivos leñosos. Al utilizarlas en quemadores específicos (que necesitan inyectores), es justo moler la biomasa con el objetivo de alcanzar un combustible más fino y descartar impurezas (arena, piedras, vidrios) que vengán acompañando al hidro carburante.

Para acrecentar la densidad de la biomasa se convierte en briquetas (Fig. 2.9). Este biocombustible suele encontrarse en forma de cilindros de 50 a 130 mm de diámetro y de 5 a 30 mm de longitud con una densidad entre 1.000 y 1.300 kg/m³. Su elaboración se ejecuta con prensas en las que el material se calienta y se somete a altas presiones con la finalidad de que en su interior se desenvuelvan procesos termoquímicos competentes para generar los productos adherentes que benefician la cohesión del material. También se puede lograr a menores presiones, pero incluyendo adherentes. El serrín originario de las industrias del mueble y la madera es el candidato ideal para fabricar briquetas.



Fig. 2.9 Briquetas Utilizadas Para Calefacción.

Fuente: Investigador

Los pellets son análogos a las briquetas, pero más pequeños. Estos cilindros se fabrican con prensas de granulación, similares a las empleadas para la fabricación de piensos para animales. La compactación se alcanza de forma natural o a través de la añadidura de combinados químicos que no contemplen los elementos que originarían contrariedades ambientales, la aparición de contaminantes en la corriente de gases de escape foráneos a los de la

biomasa, mientras ocurre el proceso de combustión. La materia prima, de la misma manera que en las briquetas, debe tener escasa humedad y la mínima granulometría. Los pellets pueden operarse sin dificultad y explotarse en instalaciones automatizadas de chico o mediano tamaño. Otro grupo de biocombustibles sólidos lo compone el carbón vegetal (Fig. 2.10) proveniente de un procedimiento térmico de la biomasa leñosa en atmósferas de pequeño contenido en oxígeno (de manera tradicional en hornos de tierra). Al ser consecuencia de una alteración termoquímica de la biomasa primaria, se considera un biocombustible de naturaleza secundaria. El carbón vegetal se obtiene a través de la combustión lenta y parcial de biomasa leñosa con porcentaje de humedad a una temperatura inconstante entre 250 y 600°C. La potencia calórica del producto obtenido varía entre 6.000 y 8.000 kcal/kg, en dependencia del monto de cenizas contenidas en la madera.



Fig.2.10 Carbon Vegetal.

Fuente: Investigador

2.1.2 Biocombustibles líquidos



Fig.2.11 Biocombustibles.

Fuente: (Lara, 2018)

La designación de biocombustibles líquidos o biocarburantes se emplea a una sucesión de productos de origen biológico útiles como combustibles de sustitución de los originarios del petróleo o como aditivos de éstos para su uso en motores de combustión interna. Al presente sólo son comerciales los de primera generación, etanol (y etil-terbutil éter derivado de él) y biodiesel. Las materias primas de las que ambos resultan tienen además uso alimentario. Evitar que la obtención de biocarburantes compita con las fuentes de alimentación y utilizar la mayor parte del vegetal es el motivo que impulsa el compromiso para disponer de biocarburantes de segunda generación. La ruta bioquímica, así como la ruta termoquímica brindan formas apropiadas para transformar el material lignocelulósico en productos destinados a suplantar los carburantes provenientes de los combustibles fósiles para lo que es primordial eliminar varias dificultades antes de establecer esta tecnología.

2.1.2.1 Bioetanol

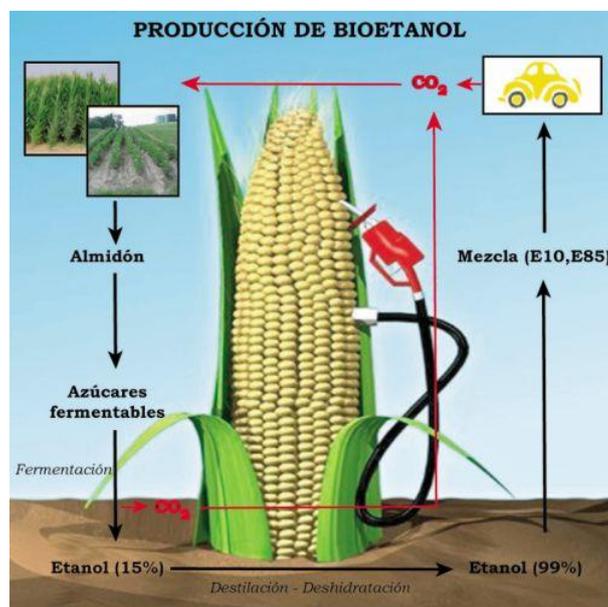


Fig. 2.12. Producción de bioetanol.

Fuente: (Hackenberg, 2017)

Las complejas moléculas orgánicas (azúcares, hidratos de carbono, celulosa, hemicelulosa, lignina) que sintetizan las plantas a partir de CO₂, H₂O y nutrientes se concentran en la parte fibrosa. El bioetanol se adquiere por fermentación de los azúcares procedentes, en la mayoría de los casos, de caña de azúcar y maíz, constituyendo el biocarburante que se manufactura en

mayores proporciones en todo el mundo. El producto consiguiente del proceso de fermentación de los azúcares posee una cantidad considerable de agua que es necesario eliminar para emplearlo como carburante.

Se utilizan tres familias de materias primas para la producción del etanol. Azúcares originarios de la caña o de la remolacha. Almidones originarios de cereales como maíz, cebada o trigo. Celulosa y hemicelulosa originarios del material lignocelulósico de los vegetales.

En la figura 2.13 se observa el diagrama de flujo del proceso de producción de bioetanol, se muestran las etapas específicas y las comunes a los productos de las tres familias.

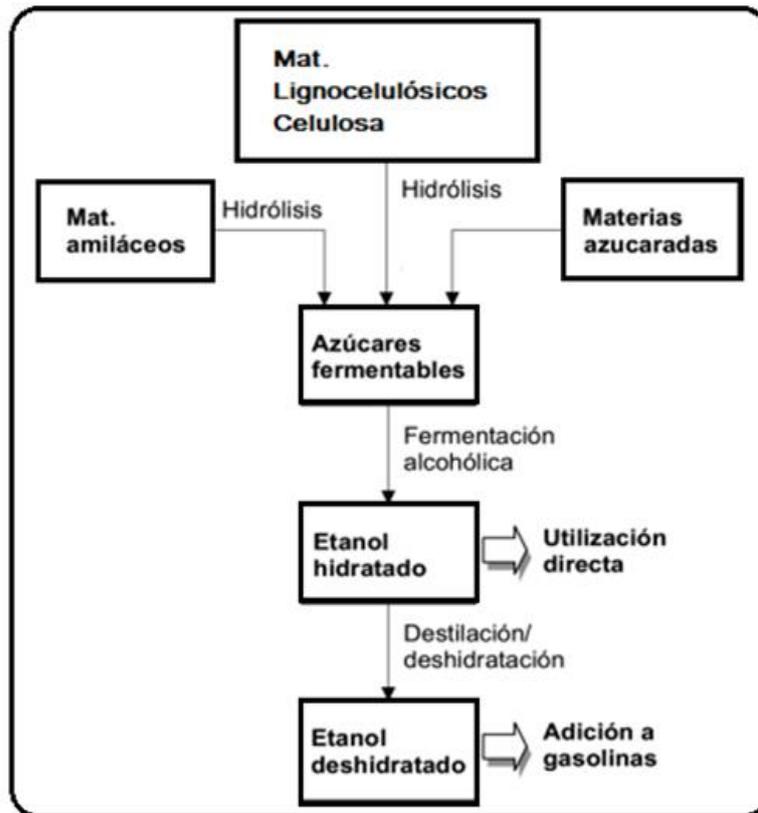


Fig.2.13 Diagrama De Flujo Del Proceso De Producción De Bioetanol A Partir De Diferentes Materias Primas.

Fuente: Investigador

Las sustancias azucaradas liberan cómodamente los azúcares fermentables. La caña de azúcar se convierte sin dificultad en azúcares solubles en agua (jugo de caña) y lignina insoluble (bagazo) que se aprovecha como

combustible sólido. La remolacha azucarera asimismo libera los azúcares en contacto con agua, permaneciendo un residuo que se consigna a la alimentación animal o a la elaboración de productos químicos.

El almidón es la sustancia más importante de reserva de las semillas amiláceas que es necesario liberar y convertir en azúcares fermentables. En el proceso de molido en seco es puntual limpiar y moler los granos para reducirlos a finas partículas, harina, que contienen el germen, la fibra y la fécula del maíz. La harina se convierte por hidrólisis ácida o enzimática en una disolución azucarada que contiene sacarosa. El otro proceso empleado para liberar los azúcares es el que se aplica en instalaciones con grandes producciones de bioalcohol (proceso húmedo). Con esta tecnología, se obtienen otros subproductos, sirope, fructosa, dextrosa, etc., además de la elaboración de alcohol. A través del tratamiento del maíz con agua caliente ablandando el grano se facilita la ruptura de las proteínas y la liberación del almidón; al triturar el grano se obtiene el germen, la fibra y la fécula que se apartan mediante las oportunas operaciones para disponer de los polisacáridos del almidón. Por hidrólisis ácida o enzimática (gluco-amilasa) se adquiere glucosa que es un azúcar biodegradable.



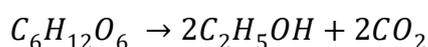
Fig.2.14 Almidón soluble en agua.

Fuente: (Sai, 2018)

Los componentes lignocelulósicos son los que brindan un mayor potencial para la elaboración de bioetanol. Una gran parte de los materiales con elevado

contenido en celulosa, dispuestos de ser utilizados para estos fines, se forman como residuos en los procesos productivos de los sectores agrícola, forestal e industrial. Los residuos de biomasa se comprenden de mezclas complicadas de carbohidratos, llamadas celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa no se puede fermentar directamente; es forzoso transformarla en azúcares más simples para su posterior conversión en alcohol. Las tres principales metodologías para extraer estos azúcares son: la hidrólisis con ácidos concentrados, la hidrólisis con ácidos diluidos y la hidrólisis enzimática. Las complicadas estructuras de la celulosa se van dividiendo por hidrólisis con ácidos concentrados a poca temperatura, con ácidos diluidos a alta temperatura o mediante procesos enzimáticos hasta lograr una solución que se conforma de azúcares fermentables, como glucosa, celobiosa o xilosa.

Para finalizar el proceso en su última etapa se fermenta anaeróbicamente las disoluciones azucaradas para convertirlas en etanol y dióxido de carbono.



La reacción exotérmica (25,5 kcal) permite lograr como máximo 0,51 kg de alcohol por kg de azúcar fermentado el resto se libera como dióxido de carbono, a pesar que la concentración de alcohol en la disolución no puede superar los valores (12-15%) que son tóxicos para las levaduras.

Un avance trascendental en el proceso de elaboración de etanol fue la realización simultánea del tratamiento de sacarificación (transformación de celulosas y hemicelulosas en azúcares) y de fermentación. Este proceso disminuye el número de reactores involucrados durante la elaboración y, más significativo aún, impide la producción de agentes inhibidores coligados a las enzimas. A la vez que se libera el azúcar por vía enzimática, la fermentación lo convierte en alcohol. Este proceso se ha reformado incluyendo la fermentación de múltiples sustratos de azúcar.

El alcohol derivado por fermentación involucra una parte significativa de agua que debe ser eliminada para su uso como combustible. Dado que el etanol tiene su punto de ebullición menor (78,3°C) que el agua (100°C), se calienta la mezcla de fermentación para evaporar y, subsiguientemente, condensar el

etanol. Uno de los puntos importantes en la economía de los procesos de elaboración de bioetanol es la destilación y la deshidratación del producto destilado. Estos procesos son los responsables de la utilidad energética del etanol. En un estudio hecho para el bioetanol a partir de maíz, se ha determinado que sólo el 6% de la energía indispensable para obtener bioetanol pertenece a la energía contenida en el carburante; el resto se desaprovecha en las disímiles etapas del proceso. En la figura 2.15 se observa el balance energético de la elaboración de etanol a partir de maíz

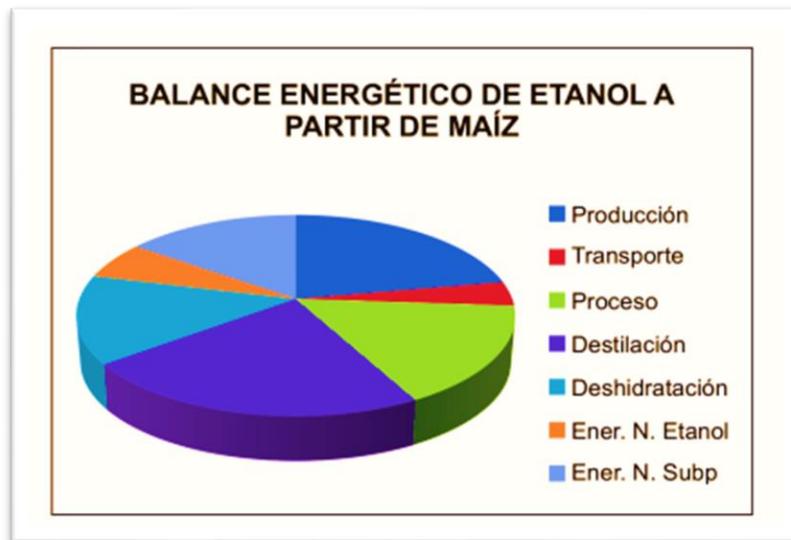


Fig. 2.15 Balance Energético De La Producción De Etanol A Partir De Maíz.

Fuente: Investigador

Como puede distinguirse, casi el 40% de la energía corresponde a la energía consumida en los procesos de destilación y deshidratación, mientras que en la obtención de maíz escasamente supera el 20% y el transporte de materias primas y distribución de etanol supone el 4%. También se distingue que la energía neta de los subproductos es 2,5 veces más que la energía neta del etanol.

Los motores de explosión ciclo Otto funcionan con mezclas de hasta el 25% de alcohol deshidratado sin que sea obligatorio realizar alteraciones significativas, aunque su utilidad es desigual al que se alcanza con el combustible convencional. Para mezclas del 15% se provoca una reducción del 2% de la potencia del motor, un acrecentamiento del 4% del consumo y

un acrecentamiento de la corrosión en las partes metálicas y mecanismos de caucho. No obstante, si se emplea una mezcla del 20% y se ajusta el motor acrecentando la relación de compresión y modificando la carburación a la nueva relación estequiométrica, se logra un incremento del 9% de potencia, una disminución del 7% de consumo y una excelente combustión que se traduce en un menor índice de arbonización y menor emisión de gases reductores.

Brasil es el país que más ha incursionado con la mezcla de alcohol y gasolina alcanzando un aumento de su proporción hasta el 25%. Sin embargo, en la Unión Europea el límite máximo de etanol está restringido por la especificación del contenido en oxígeno de 2,7%, que corresponde a no superar el 7,8% de etanol en el carburante. En algunos países europeos se emplea generalmente una mezcla con 5% de etanol. Para disminuir drásticamente la energía consumida en el proceso de destilación y deshidratación del bioetanol es necesario poder ejecutar la combustión de etanol en el motor con contenidos de agua por encima al 30%. Por ejemplo, en la destilación de un litro de etanol al 88% se precisa doble de energía que en la destilación de un litro de etanol al 60%.

Los dos principales obstáculos para el uso del bioetanol son su insolubilidad con el agua y la presión de vapor. Chicas cuantías de agua en las mezclas etanol-gasolina dan lugar a la formación de dos fases, en cuyo caso se disminuye el rendimiento del vehículo. El motor HCCI (Carga Homogénea Encendido por Compresión) es un híbrido entre los Diesel y los de gasolina que emplean etanol con un elevado porcentaje de agua. La combustión en este motor se realiza por compresión como en los Diesel, pero la mezcla del combustible con el aire tiene lugar fuera de la cámara de combustión como sucede en los motores de gasolina de inyección indirecta.

Aunque el etanol tiene una presión de vapor respectivamente baja, cuando se emplea como aditivo de la gasolina su presión de vapor efectiva es muy alta, alcanzando a un valor RVP (Reid Vapor Pressure) de 122 Kpa, lo cual implica una desventaja para su uso. La adicción de etanol a una gasolina puede implicar la obligación de disminuir monto de hidrocarburos de bajo punto de

ebullición, como butanos o incluso isopentanos, para cumplir las especificaciones de presión de vapor.

Otra forma de utilizar bioetanol como carburante es convertirlo en un producto cuyas particularidades sean convenientes para aprovecharlo como aditivo de la gasolina. Con la implementación de las gasolinas sin plomo empleadas para el uso de catalizadores competentes en reducir las emisiones de hidrocarburos, monóxido de carbono o óxidos de nitrógeno se vio comprometido el número de octano de la gasolina. La necesidad de recobrar el octanaje y de disminuir las emisiones contaminantes exigió el agregado de aditivos oxigenantes como metanol, tercbutil alcohol (TBA) o metil-tecbutiléter (MTBE). El etil-tercbutil éter (ETBE) se adquiere por reacción catalítica de isobuteno y etanol. En los últimos años este compuesto se está imponiendo sobre los demás aditivos por sus ventajas ambientales y por su acción sobre el carburante. Las emisiones de este aditivo son menos nocivas para el medioambiente tanto por la menor cuantía de contaminantes emitidos, se reduce la emisión de monóxido de carbono y de hidrocarburos inquemados, como por el tipo de contaminantes minoritarios, el acetaldehído es menos tóxico que el formaldehído. El ETBE es considerablemente menos soluble en agua que el MTBE, lo que reduce la posibilidad de contaminar el medio acuático. En el proceso de producción se utiliza una materia prima renovable, etanol, en lugar de emplear materias primas derivadas del petróleo como es el caso del MTBE. Las ventajas del ETBE frente a otros aditivos, MTBE y alcoholes, proceden de su poco contenido de oxígeno (15 frente a 18,2 en MTBE), menor poder corrosivo que los alcoholes, menor RVP (27 Kpa frente a 54 Kpa del MTBE y 122 Kpa del etanol), mayor potencia calorífica, menor afinidad por el agua y mayor resistencia a la formación de dos fases que el MTBE, etc. Esta es la causa de que su uso se este imponiendo en Europa, predominando sobre la mezcla de etanol con la gasolina. Casi todo el etanol dedicado a la automoción es convertido a ETBE. Además, puede utilizarse el etanol como suplente del gasóleo en motores Otto. El carburante acreditado como E-diesel es una mezcla etanol-diesel (contiene hasta un 15% de etanol) que disminuye apreciablemente las emisiones de partículas y otros contaminantes y mejora el procedimiento del arranque en frío.

Hoy en día se está desarrollando este carburante y se está trabajando en función de eliminar las primordiales barreras técnicas como el bajo punto de inflamación y la volatilidad en el tanque, la inestabilidad de la micro emulsión que establece la separación en dos fases, etanol y diesel a bajas temperaturas.

2.1.2.2 Biodiesel



Fig. 2.16 Biodiesel.

Fuente: (Blake, 2020)

La naturaleza de los aceites vegetales esboza una serie de obstáculos, debidos especialmente a su elevada viscosidad, a la hora de emplearlos directamente en los vehículos actuales. Es ineludible realizar una serie de innovaciones en los motores convencionales, o bien utilizar motores Elsbett, para que los triglicéridos puedan utilizarse como carburantes.

Cuando no se introducen estos cambios se compensan transformando los aceites en ésteres metílicos o etílicos y glicerina, con el fin de optimar sus peculiaridades como combustible. De esta forma se logra que las moléculas de largas cadenas ramificadas iniciales, de elevada viscosidad, se conviertan en otras moléculas de cadena lineal, de menor viscosidad y de peculiaridades fisicoquímicas y energéticas más afines a la del gasóleo de automoción.

El biodiesel es un biocarburante líquido que está compuesto por ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga procedentes de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas animales y que se utilizan en motores de ignición por compresión. Los ésteres más manejados son los

de metanol y, en pequeña medida, etanol. El biodiesel es un combustible de automoción muy parecido al gasóleo, lo que no sucede con el aceite sin alterar. Por ejemplo, la viscosidad de los ésteres es el doble a la del gasóleo mientras que la del aceite crudo es diez veces superior. Otras características como índice de cetano, densidad o punto de infamación, son equivalentes en ambos carburantes lo que admite utilizar el biodiesel puro o mezclado en diferentes proporciones con el gasóleo de automoción en los motores convencionales. Se han especificado distintas pruebas que se imponen realizar a los combustibles para aseverar su educado funcionamiento. En la obtención de biodiesel se ha empleado aceite originario de una gran variedad de semillas oleaginosas como el girasol y la colza (Europa), la soja (Estados Unidos) y el coco (Filipinas) y de frutos oleaginosos como la palma (Malasia e Indonesia). Por razones climatológicas. La Política Agraria Común ha inducido que las tierras de retirada se dediquen a la producción de este tipo de materias primas. El uso de cultivos habituales con fines energéticos está restringido por la obtención de aceite por hectárea, por lo general demasiado baja para que el agricultor se involucre en estos cultivos reservados a producir materias primas para biocarburantes. Aparte de los aceites convencionales existen otras especies, más adecuadas a las circunstancias del terreno en el que se cultivan, que pueden ofrecer ventajas como cultivo energético.

Los aceites y las grasas procedentes de diferentes vegetales o animales se diversifican, especialmente, en los ácidos grasos que contienen: palmítico, oleico, linoleico, linolénico, etc. En dependencia de la longitud de la cadena del ácido graso, del número de dobles enlaces y de su posición se adquirirán carburantes con un desigual proceder. Las moléculas más largas hacen que se acreciente la viscosidad del aceite lo que involucra una mayor dificultad de bombeo y atomización del combustible en los inyectores que trae consigo una disminución del rendimiento. La presencia de dobles enlaces mejora su conducta a bajas temperaturas, pero son más sensitivas al proceso de oxidación. Los ácidos grasos poliinsaturados poseen una excelsa reactividad que es responsable de su tendencia a la polimerización y creación de gomas por oxidación mientras ocurre el almacenamiento en los tanques y depósitos. El aceite de girasol se especifica por la elevada proporción de ácidos grasos

insaturados por lo que se transforma genéticamente para reducir esta proporción y conseguir un aceite, aceite de girasol de alto oleico, apropiado como materia prima para este fin.

La producción de biodiesel se realiza a través de la reacción de moléculas de triglicéridos (el número de átomos de carbono de los ácidos está percibido entre 14 y 24, siendo el más habitual el de 18) con alcoholes de bajo peso molecular (metanol, etanol, propanol, butanol) para engendrar ésteres y glicerina. En la figura 2.17 se puede observar el diagrama de flujo del proceso de elaboración de biodiesel a partir de aceites vegetales.

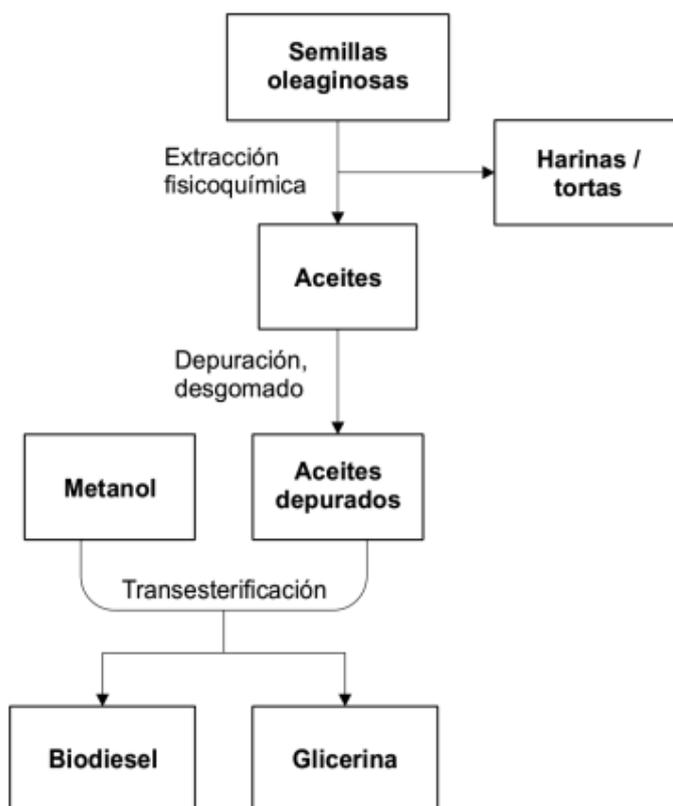


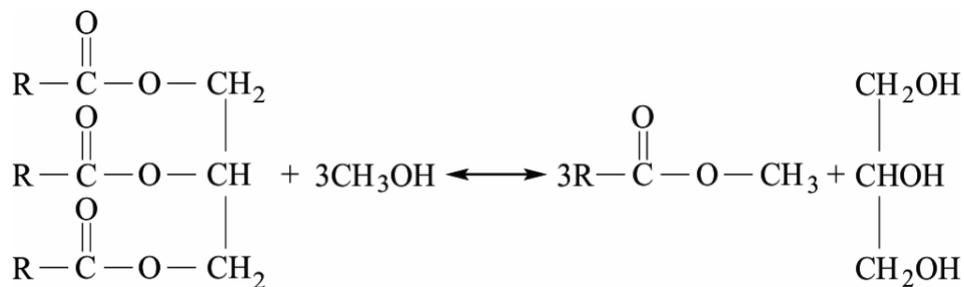
Fig. 2.17 Etapas En La Elaboración De Biodiesel A Partir De Aceites Vegetales.

Fuente: Investigador

En una primera etapa se prensan las semillas calientes en un disolvente para apartar el aceite de la torta. Así se logran provechos de la extracción próximos al 100%. El aceite se procesa para eliminar gomas, impurezas y sustancias en suspensión.

La torta que se adquiere como subproducto posee un alto contenido en proteína siendo factible su comercialización para alimentación animal, abaratando los costes del proceso de extracción.

El triglicérido es el componente fundamental del aceite vegetal o de la grasa animal y debe convertirse en ésteres de ácidos grasos y glicerina. La correlación estequiométrica demanda tres moles de alcohol y un mol de triglicérido para ocasionar tres moles de éster y un mol de glicerina, en otras palabras, se requieren unos 1000kg de triglicérido y 110 de metanol para obtener 1000kg de ester y 110kg de glicerina.



En la transesterificación se originan tres reacciones reversibles y consecutivas. El triglicérido se transforma en una primera reacción en diglicérido, en la segunda en monoglicérido y en la tercera en glicerina. En cada una se libera un mol de éster.

Al ser estas reacciones reversibles es preciso trasladar los equilibrios hacia la derecha para la transformación por completo del triglicérido. Esto se logra utilizando un exceso de alcohol, por ejemplo, una relación alcohol/éster 6:1 en lugar de la relación estequiométrica. De carácter simultánea a la formación de los ésteres tiene lugar la de glicerina. Este coproducto de la reacción es inmiscible con los ésteres por lo que esta propiedad de la mezcla favorece al desplazamiento, siempre y cuando el exceso de alcohol no acreciente la solubilidad de estos productos.

Estas reacciones de transesterificación son por lo general muy lentas en las circunstancias de operación, es necesario acrecentar la velocidad añadiendo un catalizador a la mezcla de reactivos. Los catalizadores pueden ser básicos homogéneos (KOH, NaOH), ácidos homogéneos (H₂SO₄, HCl, H₃PO₄), básicos heterogéneos (MgO, CaO, Na/NaOH/Al₂O₃), ácidos heterogéneos (zeolitas, resinas sulfónicas, SO₄/ZrO₂, WO₃/ZrO₂), e incluso enzimas

(lipasas). La mayoría de los procesos comercializados emplean catalizadores homogéneos básicos ya que debido a su elevada actividad admiten un tiempo de reacción en condiciones moderadas reamente cortos. Al utilizar catalizadores ácidos se solicitan temperaturas elevadas y tiempos de reacción largos. No obstante, el empleo de álcalis tiene varios inconvenientes dado que las potenciales reacciones secundarias de saponificación y neutralización.

Para evitar que se originen reacciones de saponificación es imperioso que los triglicéridos y el alcohol sean anhidros (<0,06% volumen/volumen). El triglicérido en presencia de agua da lugar a la creación de jabones mediante la reacción de saponificación. Esta reacción está favorecida por hidróxido potásico o sódico y sus moléculas poseen los grupos OH responsables de esta reacción. Esta dificultad se reduce si se utilizan alcoholes como catalizadores ya que sólo contienen el grupo OH como impureza y no producen jabones por saponificación.

Es necesario que los triglicéridos posean un bajo porcentaje de ácidos grasos libres con el objetivo de evitar que reaccionen con el catalizador y constituyan los correspondientes jabones por neutralización. Unas veces se realiza la neutralización previa con NaOH y otras se excluyen los ácidos grasos libres a través de una reacción de esterificación con un catalizador ácido para formar los correspondientes ésteres.

De los alcoholes que pueden utilizarse para la transesterificación de los triglicéridos el metanol es el más empleado en las instalaciones, aunque no sea una materia prima renovable. Al mezclar el metanol o el etanol con los triglicéridos se crean dos fases por lo que es necesario, agitando la mezcla, para aumentar la velocidad de transferencia de materia entre las fases y conseguir que los reactivos estén en contacto. Mediante la reacción se forma una emulsión, producida en parte por la formación de monoglicéridos y diglicéridos intermedios, que comprenden grupos hidroxilo, que son polares, y cadenas de hidrocarburos, que son no polares. Fig.2.18.

En la metanolisis esta emulsión disminuye velozmente al formar una capa rica en glicerina y otra, en la parte superior, formada por los ésteres metílicos. La creación de los ésteres etílicos es menos fácil que la formación de los ésteres

metílicos debido a la inestabilidad de su emulsión que complica demasiado el proceso de separación de las fases y la purificación del producto final.

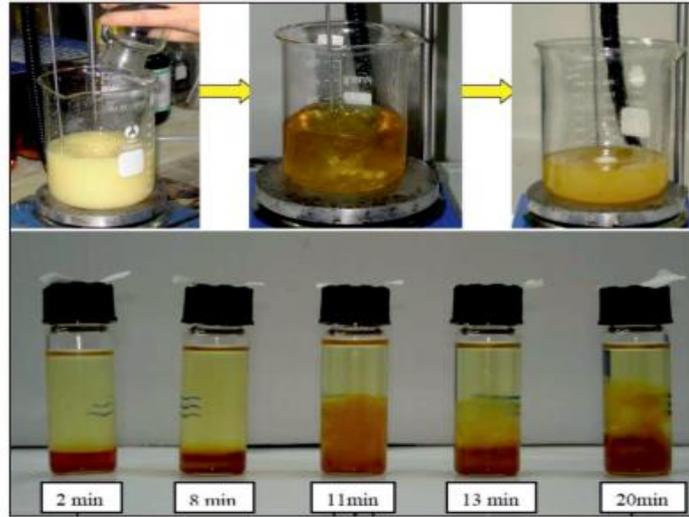


Fig. 2.18 Evolución De La Mezcla De Reacción Durante La Transesterificación De Un Aceite De Soja Con Metanol Catalizada Por hidróxido Sódico.

Fuente: Investigador

La mayoría del biodiesel procede de aceites vegetales, metanol y un catalizador alcalino. No obstante, hay muchos aceites de bajo coste y grasas animales que se adecuan como nuevas fuentes de triglicéridos. Estas materias primas alternativas contienen gran cantidad de ácidos grasos libres que originan el problema comentado anteriormente con los catalizadores alcalinos. Para estos casos es necesario realizar la esterificación en dos etapas: inicialmente se efectúa un pretratamiento para convertir los ácidos grasos en ésteres metílicos con un catalizador ácido, y a continuación se realiza la transesterificación con un catalizador alcalino.

Aunque todos los procesos de producción de biodiesel tienen en común el comportamiento fenomenológico de la transesterificación, existen múltiples opciones de operación que son viables industrialmente. La elección de la tecnología se realiza en función de la capacidad de producción, alimentación, calidad y recuperación del alcohol, catalizador, procedimiento de purificación del producto, etc. El proceso más simple es el discontinuo que suele operar a relaciones de 4:1 (alcohol/triglicérido). Son reactores con agitación mecánica

para mezclar aceite, alcohol y catalizador, equipados con un condensador de reflujo, que operan en el intervalo de 25°C a 85°C de temperatura, habitualmente 65°C. El catalizador más utilizado es el hidróxido en concentraciones que varían entre el 0,3% y el 1,5% dependiendo de que sea hidróxido sódico o potásico. Cuando se aproxima el tiempo necesario para completar la reacción se reduce la agitación con el fin de facilitar la separación de fases. En los procesos continuos se emplean uno o varios reactores tanque de mezcla completa diseñados para que la composición en el reactor sea en su mayoría constante. La creación de fases y su evolución en el intervalo de la reacción de transesterificación permite diseñar un sistema de reactores mezcladores/sedimentadores en el que se origina la alimentación de reactivos (aceite y alcohol/catalizador) y la extracción de fases (la apolar en la que se hallan los ésteres y la polar en la que halla la glicerina) de forma separada (en distintas unidades del sistema). En la síntesis de biodiesel se crean los esteres en una proporción del 90% y un 10% de glicerina. La glicerina es un subproducto que puede refinarse hasta lograr el grado farmacológico o emplearse de calidad industrial para diferentes aplicaciones. Como su comercialización forma parte de la viabilidad económica del biodiesel, la creciente oferta de glicerina está ocasionando una disminución del precio de venta y por consiguiente el descenso de su beneficio. Se deben buscar nuevas aplicaciones y procesos en los que se utilice la glicerina como materia prima de interés para la industria química con el fin de mejorar la economía de este biocarburante.

Los ésteres metílicos procedentes de los aceites vegetales tienen características físicas y fisicoquímicas tan semejantes al gasóleo que admite su mezcla en cualquier proporción y emplearlos para los vehículos diesel convencionales, sin realizar modificaciones en el diseño básico del motor. Para certificar el correcto trabajo del biodiesel es preciso contar con una especificación del carburante que se brinda al público.

El biodiesel mezclado con gasóleo se ha extendido desde los últimos 10-15 años como combustible de automoción. Concertando estas mezclas con el gasóleo, es observable las ventajas ambientales procedentes de la

disminución de emisiones de monóxido de carbono, partículas, hidrocarburos, dióxido de carbono, óxidos de azufre, de la biodegradabilidad (98,3% en 21 días) y de la toxicidad. Las ventajas técnicas se deben a su poder lubricante con lo cual se alarga la vida útil del motor y se reduce el ruido y al mayor poder disolvente evita la producción de carbonilla, la obstrucción de los conductos y mantiene limpio el motor y los inconvenientes, a su punto de congelación y a su poder disolvente que afecta a la durabilidad de los filtros.

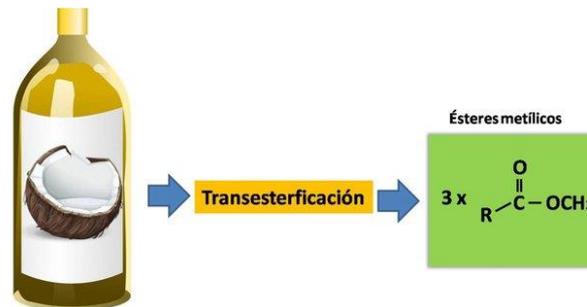


Fig. 2.19 Triglicéridos de los aceites vegetales

Fuente: (Moron, 2019)

2.1.2.3 Otros biocarburantes líquidos.

Los carburantes de primera generación, bioetanol y biodiesel, son admitidos para sustituir a los carburantes procedentes del petróleo, adquiridos a partir de materias primas que además se emplean para la alimentación y en su elaboración sólo producen una fracción pequeña de la biomasa. Para que los carburantes procedentes de la biomasa asuman una contribución importante al consumo energético del transporte es preciso adquirirlos de sus principales constituyentes, celulosa y lignina.

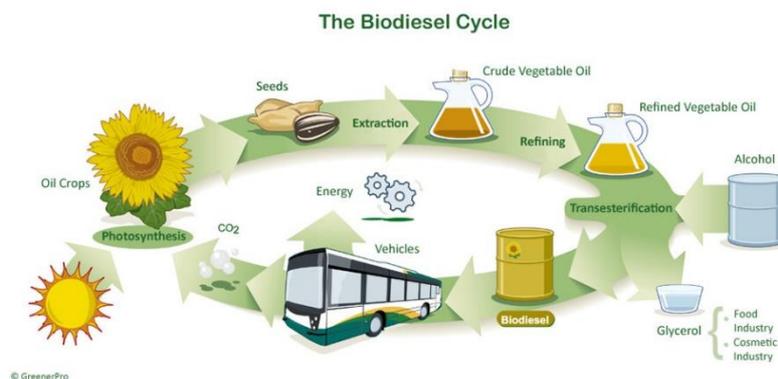


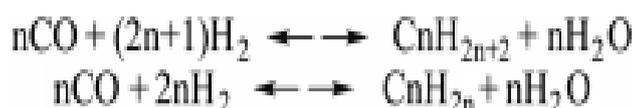
Fig. 2.20 Ciclo del biodiesel.

Fuente: (Isafres, 2015)

La pirolisis es un procedimiento de la biomasa a altas temperaturas y carente de oxígeno que accede a adquirir productos gaseosos y líquidos de alta potencia calorífica. Se nombra bio-oil al producto líquido derivado por pirolisis rápida de la biomasa, a baja temperatura (450-550°C), con alta velocidad de calentamiento (1.000-10.000 K/seg), menores tiempos de residencia (<1s) y alta velocidad de enfriamiento de los gases que emergen del reactor. El bio-oil es un líquido marrón formado por agua (25%) y compuestos oxigenados (45-50% de oxígeno) hechos por despolimerización y fragmentación de la celulosa, hemicelulosa y lignina. Además de polar, es un producto inestable ya que la reactividad de sus componentes. Se discurre una micro emulsión de productos de desintegración de la lignina en una disolución acuosa de otros combinados orgánicos creados en la pirolisis. La constitución es complicada y estriba del tipo de biomasa, de la tecnología implicada y de las circunstancias de operación.

El bio-oil para emplearse directamente como combustible posee varias dificultades: alto contenido en agua, baja potencia calorífica, bajo índice de cetano, alta viscosidad, acidez e inestabilidad. Para su utilización practica como carburante o materia prima es inevitable el empleo de métodos analíticos normalizados que admitan su personalización para estos fines.

La síntesis de Fischer-Tropsch es un proceso catalítico, descubierto desde los años 20 del pasado siglo, que trasfigura el gas de síntesis (CO e H₂) en una composición de hidrocarburos líquidos de la que se obtiene gasolina y gasóleo. Las primordiales reacciones que llevan a la creación de estos hidrocarburos son:



Las cuales van acompañadas de una serie de reacciones secundarias que conllevan a la producción de metano, carbono, alcoholes, etc.

La consecuencia de esta transformación es un compuesto de hidrocarburos de naturaleza y proporción dependientes del procedimiento practicado, del sistema catalítico y de las circunstancias de en la que se realiza la

transformación, por lo general este producto atraviesa por un proceso de hidrotratamiento para poder cumplir los requerimientos del mercado. Es una manera de explotarlo industrialmente con gas de síntesis proveniente de carbón o de gas natural.

El gasoil sintético derivado del método Fischer-Tropsch tiene el proceder ambiental de un biocarburante si el gas de síntesis proviene de la biomasa.

2.1.3 Biocombustibles Gaseosos

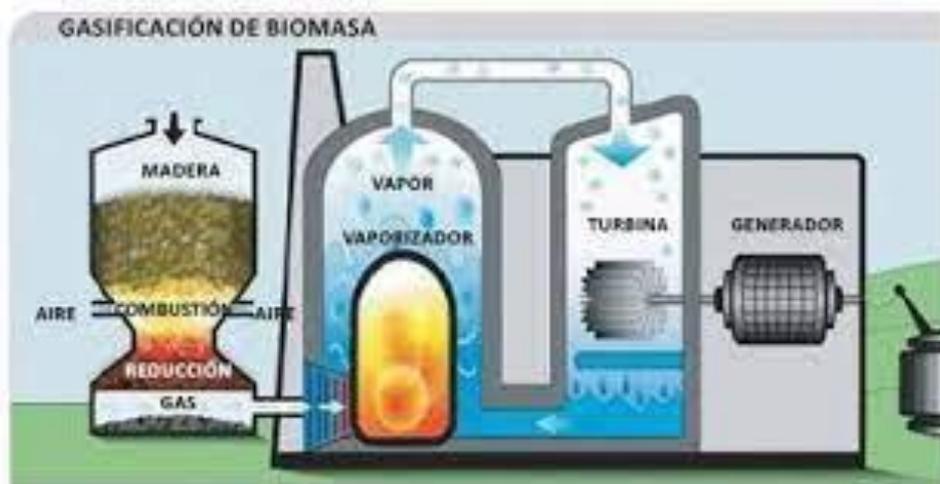


Fig. 2.21 Gasificación de la biomasa.

Fuente: (Rodríguez, 2019)

De la biomasa se obtienen varios combustibles gaseosos como biogás, gas de gasógeno y gas de síntesis e hidrógeno.

En la estructura energética de hoy, el hidrógeno es un resultante energético que se muestra como una variante, esencialmente por sus ventajas ambientales y a su utilización en pilas de combustible.

Su combustión origina agua y una gran suma de energía (27.000 kcal/kg) por lo que es idóneo para múltiples usos industriales, domésticas y de transporte. La producción de hidrógeno mediante compuestos orgánicos se lleva a cabo en un procedimiento, designado "reformado", que reside en descomponer las moléculas hidrocarbonadas por medio de reacciones con vapor de agua con un catalizador.

Este combustible, hidrógeno, exhibe importantes problemas logísticos por su inflamabilidad y baja densidad. La opción de licuar el gas choca con el alto consumo energético y las elevadas inversiones para la comercialización directa. Debido a que su empleo se justifica esencialmente por razones ambientales, las fuentes de energía renovables forman la materia prima ideal para adquirirlo. Entre las moléculas orgánicas originarias de la biomasa con probabilidades para ser fuente de hidrógeno, el bioetanol es la variante de menor coste y mayor inconsecuencia.

Es conveniente para diferentes usos ya que la producción de hidrógeno mediante etanol oscila entre pocos kW y varios MW. La obtención de hidrógeno empleando etanol ínsito como materia prima asume igual logística a la existente para los combustibles fósiles lo que con un importante descenso de los costes de distribución del hidrógeno.

2.1.3.1 Fermentación anaeróbica: biogás

La digestión anaeróbica es un procedimiento utilizado en la depuración de aguas residuales y efluentes orgánicos de industrias agrarias o de usufructos ganaderos.

Este tipo de evolución se origina espontáneamente en pantanos o fondos de lagunas y lagos en los que existen cantidades de materia orgánica.

El metano (gas de los pantanos), se produce además de forma espontánea en los vertederos de residuo sólido urbano, extrayéndose a través de perforaciones y redes de transporte apropiadas.

Este procedimiento de la biomasa produce biogás, en cuantías de unos 300 m³ por tonelada de materia seca, con una potencia calorífica de unas 5.500 kcal/m³.

El biogás está compuesto primariamente por metano (55-65%) y CO₂ (35-45%); y, en un pequeño porcentaje, por nitrógeno (0-3%), hidrógeno (0-1%), oxígeno (0-1%) y sulfuro de hidrógeno (trazas). La potencia calorífica del biogás está definida por la acumulación de metano (9.500 kcal/m³). Este parámetro puede incrementarse eliminando parte del CO₂ que le acompaña.

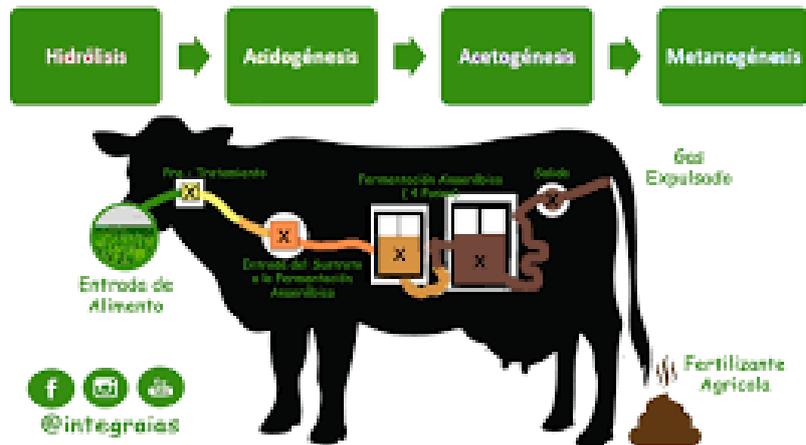


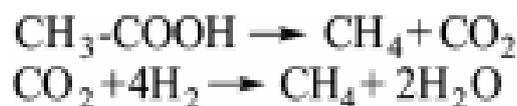
Fig. 2.22 Biomasa.

Fuente: (Integra, 2014)

El proceso de fermentación anaeróbica de la materia orgánica se efectúa en cuatro etapas en las que se encuentran disímiles tipos de bacterias. En la etapa de hidrólisis, las bacterias hidrolíticas son garantes de degradar las complicadas moléculas orgánicas en fracciones más sencillas como ácidos grasos y glicerina de los lípidos, péptidos y aminoácidos de proteínas y monosacáridos de los polisacáridos. Sobre ellos proceden las bacterias acidogénicas para convertirlos en ácidos de cadena corta (acético, propiónico, butírico, etc.), alcoholes, amoníaco, hidrógeno y dióxido de carbono.

La tercera etapa, acetogénica, es en la cual se transforman de los productos intermedios de la etapa anterior (propiónico, butírico), que no se metabolizan por los organismos metanogénicos, en acético, hidrógeno y dióxido de carbono.

En la última etapa, etapa metanogénica, las bacterias modifican el ácido acético en metano y dióxido de carbono (el 70% del metano proviene de esta vía) y otras, el dióxido de carbono e hidrógeno en metano y agua:



La más lenta es esta cuarta etapa, ya que toma el control de la degradación anaeróbica, menos en los casos en los que existen partículas sólidas en las cuales la hidrólisis es demasiado lenta.

En demasía existen factores físicos y químicos que perturban la conducta del proceso y que es necesario controlar para lograr una acción correcta. En el medio debe haber una relación apropiada de nutrientes para el crecimiento de la flora bacteriana.

Se puede aplicar en un amplio intervalo de temperatura siendo el mesófilico el más utilizado por su poca sensibilidad a las inconstantes temperaturas y porque conjuga la productividad con el rendimiento energético. Los microorganismos que actúan en cada una de estas etapas actúan en un rango óptimo de pH que es necesario controlar.

Otras variables que se tienen en cuenta y controlan son: el contenido de sólidos que actúa sobre la movilidad de las bacterias metanogénicas en el sustrato, los inhibidores, como oxígeno, que complican la operación, la agitación que es la encargada de dar uniformidad a la mezcla, del traspaso de materia gas-líquido, de la creación de espumas, de la sedimentación o de los agregados de bacterias, etc.

El biogás es utilizable en las aplicaciones en que se utiliza el gas natural, generación de calor, de electricidad (primordial destino), combustible para vehículos, para pilas o suplir a la red de gas natural, y de igual manera que éste se puede utilizar como materia prima para la industria química.

En los vertederos, su empleo como energéticos posee la ventaja añadida la combustión de metano y su transformación en CO₂ y agua. De esta manera disminuye el efecto invernadero (su potencial de absorción de la radiación infrarroja está muy por encima al del CO₂).

Anterior a cualquiera de sus usos energéticos, el biogás se somete a un proceso de refinado cuya complicación pende de su origen y de su empleo. El fin de la purificación es la exclusión de algunos compuestos que vienen asociados al metano en cantidades variables como CO₂, SH₂, NH₃, H₂O, partículas sólidas, etc.

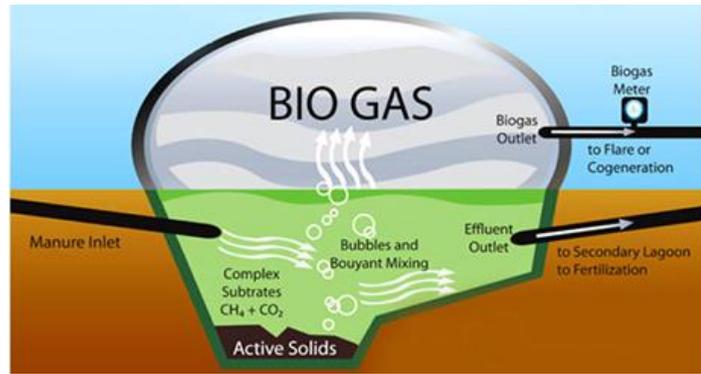


Fig. 2.22 Formación Biogás.

Fuente: (Nuñez, 2015)

2.1.3.2 Gasificación: gas de síntesis

Es el proceso en que la madera es transformada en un gas y que sirve de carburante a los motores de gasolina. El equipo en el que se originaba la gasificación de la madera se llamaba gasógeno, al gas consiguiente, gas de gasógeno, y es formado por tres etapas: gasificación del sólido en un horno al que se le nutre de aire en un porcentaje muy por debajo al necesario para la combustión completa; el gas se enfría y se depura para excluir cenizas volantes y alquitranes; y la combustión del gas en un motor de explosión de gasolina con una relación aire/gas de 1/1, o en un motor de gas que manibre bajo un ciclo Otto.

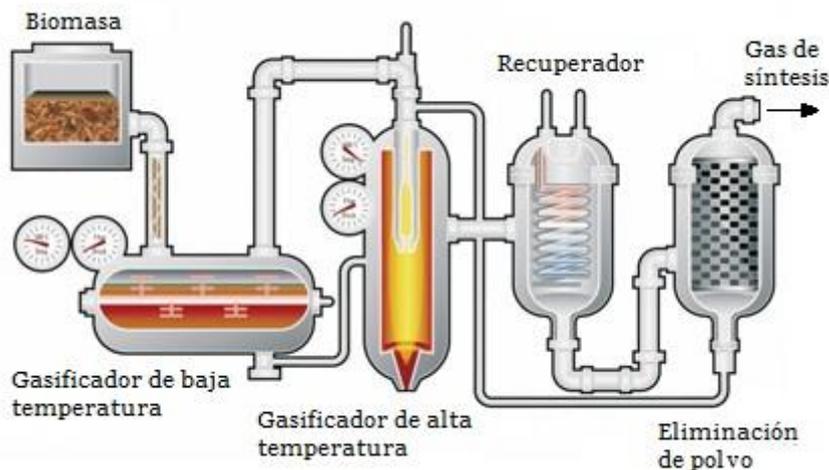


Fig. 2.22 Gas de síntesis - Propulsión alternativa de vehículos.

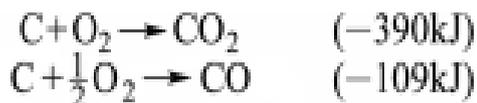
Fuente: (Campoverde, 2016)

La gasificación en este caso es un procedimiento termoquímico que transforma un combustible sólido, por oxidación parcial a elevada temperatura, en un gas portador de energía.

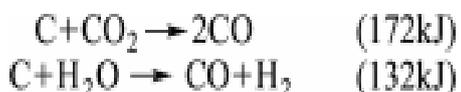
Al pasar la biomasa por elevadas temperaturas y con carencia de oxígeno se originan reacciones de pirolisis, de oxidación y de reducción que crean productos gaseosos, N₂, CO, H₂; CH₄, CO₂, cuya potencia calorífica es baja (algo mayor de 1.000 kcal/Nm³) y su finalidad, la obtención de calor por combustión directa en un quemador o la generación de energía eléctrica o mecánica a través de un motor o una turbina.

Hoy en día los procesos de gasificación avanzada, asentados en sistemas de lecho fluidizado, son los más promisorios para la generación de electricidad con alta eficiencia en ciclos combinados de turbina de gas y ciclo de vapor. Para este objetivo es muy significativo la fabricación de gases limpios.

En la gasificación tienen lugar un gran número de reacciones que establecen el carácter térmico, la composición del gas y las impurezas que conducen a los compuestos mayoritarios. Como las reacciones exotérmicas:



son las responsables de contribuir el calor solicitado para indemnizar la absorción de calor de las reacciones endotérmicas más importantes:



La reacción reversible es la que establece la relación CO//H₂:



Las responsables de la formación de impurezas son las reacciones del tipo:



El proceso de gasificación se puede realizar con aire, con oxígeno, vapor de agua, dióxido de carbono o una mezcla de estos. La utilización de aire y de oxígeno consiente lograr que el proceso sea autotérmico. Empleando vapor

de agua para la gasificación incrementa la concentración de hidrógeno y si se usa CO₂ el contenido de CO aumenta. La implementación de estos gases solicita un aporte energético en la gasificación de la biomasa y la necesidad de transformar los compuestos orgánicos condensables (“Tar”) que se crean como subproductos.

A la mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno con la que se obtienen diferentes productos (hidrocarburos, metanol, etanol, etiltercbutileter) consignados a suplantarse carburantes procedentes del petróleo o a materias primas para la industria química, se designa el nombre de gas de síntesis. Su producción y posterior transformación en combustibles como, por ejemplo, la síntesis de Fischer-Tropsch, forma un procedimiento de valorización de biomasa con fines energéticos.

C A P Í T U L O 3

ENERGÍA

EÓLICA

Tabla de contenido

- Energía eólica
- Circulación general de los vientos.
- Corriente en chorro o jet stream.
- Tipologías De Vientos.
- Brisas.
- Vientos Catabáticos Y Anabáticos.
- Velocidad Del Viento.
- Energía Útil Del Viento
- Instalaciones Eólicas
- Tecnología.
- Rentabilidad del proyecto.
- Composición Y Diseño Del Parque.
- Aerogeneradores.

Copyright 2021

CIENCIA DIGITAL EDITORIAL

Ecuador - Ambato

Prohibida la reproducción total o parcial
sin autorización.

La redacción de este UNIDAD TEMÁTICA estuvo a cargo de:

Ing. William Armando Hidalgo Osorio. M.Sc.

Ing. Paco Jovanni Vasquez Carrera M.Sc.

Ing. Guido Gabriel Carrillo Velarde M.Sc.

Ing. Franklin Germanico Vasquez Carrera M.Sc.

Digital en PDF: Ciencia Digital Editorial

Teléf. (595)032-511-262

<http://libros.cienciadigital.org/index.php/CienciaDigitalEditorial>

www.cienciadigitaleditorial.com

CAPITULO 3

3 ENERGÍA EÓLICA

Breve reseña histórica.

Hasta la construcción de la máquina de vapor en el siglo XIX, las energías de origen no animal para realización de trabajos mecánicos eran las derivadas del agua o del viento. La navegación ha sido el modo de explotación de la energía eólica desde el inicio de los tiempos más remotos; las referencias iniciales de la implementación de embarcaciones a vela resultan de Egipto entre el IV y V milenio antes de J.C. Los molinos de viento ya eran en la antigüedad. Persia, Irak, Egipto y China poseían de aparatos eólicos muchos siglos antes de J.C. Existen en China reseñas de la presencia de molinos de rotor vertical y palas a base de telas instaladas sobre un armazón de madera, utilizados para el bombeo de agua.

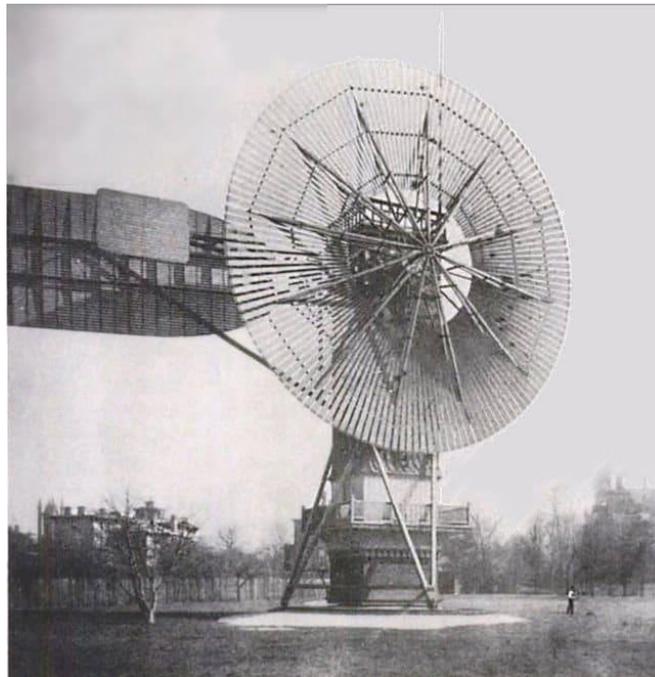


Fig. 3.1 Primera turbina eólica de la historia.

Fuente: (López, 2020)

Los molinos de viento fueron utilizados en Europa en la Edad Media, esencialmente los molinos de eje horizontal, mientras que los molinos

orientales eran de eje vertical, lo cierto es que se encuentran disímiles aplicaciones; como por ejemplo molinos castellanos utilizados para la molienda y los no menos conocidos molinos holandeses utilizados para la desecación de polvos, todos de eje horizontal. En el siglo XVI Holanda retoca el diseño de los molinos y los emplea para el drenaje; no obstante, no sólo para drenar el agua, sino también para extraer aceites de semillas, moler grano, etc; esencialmente el nombre de molinos proviene de este tipo de desempeño.

La teoría de la aerodinámica se despliega durante las primeras décadas del siglo XX, comprendiendo la naturaleza y el proceder de las fuerzas que actúan sobre las palas de las turbinas. Los científicos que desarrollaron los principios básicos para usos aeronáuticos, desarrollaron los principios que debían cumplir las generaciones posteriores de turbinas eólicas.

Betz señaló que el provecho de las turbinas se acrecentaba en proporción con la velocidad de rotación y que, en cualquier caso, ningún sistema eólico podía superar el 60% de la energía contenida en el viento.

Por lo que, los rotores debían moverse a altas velocidades de rotación para conseguir mejores beneficios. También se demostró que cuanto mayor era la velocidad de rotación menor importancia tenía el número de palas, incluso podían construirse con una sola pala sin afectar su rendimiento aerodinámico.

El primer periodo de desarrollo surge como consecuencia inmediata de la Primera Guerra Mundial y por la escasez de recursos para importar petróleo, conllevando al esparcimiento de la electricidad como sistema energético universal. Las turbinas eólicas tomaron su curso por dos caminos diferentes:

Uno, hacia el diseño, construcción y comercialización de aerogeneradores de baja potencia, idóneos para generar electricidad en áreas rurales más o menos aisladas, las que no tenían acceso a las redes de electrificación.

Dos, hacia el diseño y desarrollo de grandes plantas eólicas capacitadas para generar electricidad a gran escala para las redes de electrificación.

El segundo periodo de desarrollo de la energía eólica da inicio en 1950 y se extiende hasta mediados de los sesenta y una vez restablecida la economía internacional, acaba perdiendo interés al no resultar competitivos sus precios

con los de los combustibles fósiles, como consecuencia cerró el camino al desarrollo de la tecnología eólica.

Una tercera etapa siguió con una subida de los precios del petróleo que se prolongó hasta 1986 y que benefició el desarrollo de los aerogeneradores eólicos como fuente de energía alternativa, renovable y no contaminante, competente para generar electricidad a precios competitivos.

En esta época, las redes de electrificación emprendían a ser lo suficientemente amplias como para suministrar energía la mayor parte de las zonas rurales, por lo que asimismo se redujeron las ventajas de los aerogeneradores de baja potencia en zonas aisladas.

Terminando el periodo con un gran número de instalaciones experimentales sin apenas tener conexión entre sí.

3.1 *Circulación general de los vientos.*

Se considera viento al flujo de gases a gran escala. En nuestro planeta, el viento es el movimiento en masa del *aire* en la *atmósfera* en movimiento horizontal. Günter D. Roth lo define como «la compensación de las diferencias de *presión atmosférica* entre dos puntos, siendo la fuente de energía mecánica que en forma de energía cinética transporta el aire en movimiento

La Tierra recibe una gran cantidad de energía procedente del Sol que en lugares favorables puede llegar a ser del orden de 2000 kW/m² anuales; el 2% de ella se transforma en energía eólica capaz de proporcionar una potencia del orden de 10¹⁷ kW.

La Tierra trabaja como una gran máquina térmica que transmuta parte del calor solar en la energía cinética del viento, que posee como ventajas la de ser inagotable, gratuita y no lesiva al medio ambiente, pero además tiene los inconvenientes de ser dispersa y aleatoria.

Bajo la acción de la presión, el aire de la atmósfera se traslada de un lugar a otro a desiguales velocidades, formando al viento. El gradiente de velocidades es proporcional a la diferencia de presiones y su desplazamiento viene influenciado por el giro de la Tierra. Las primordiales causas del origen del viento son:

1. La radiación solar que es más importante en el Ecuador que en los Polos
2. La rotación de la Tierra que provoca desviaciones hacia la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur
3. Las perturbaciones atmosféricas.

El desigual calentamiento que el sol ejerce sobre distintas zonas de la tierra hace que masas de aire con distintas temperaturas se muevan tratando de encontrar una situación de equilibrio. Esta desigualdad en la distribución térmica crea una circulación a gran escala, la circulación general del aire.

El movimiento de la Tierra es conformado por la relación entre las aceleraciones siguientes:

$$a(\text{absoluta}) = a(\text{relativa}) + a(\text{arrastre}) + a(\text{Coriolis})$$

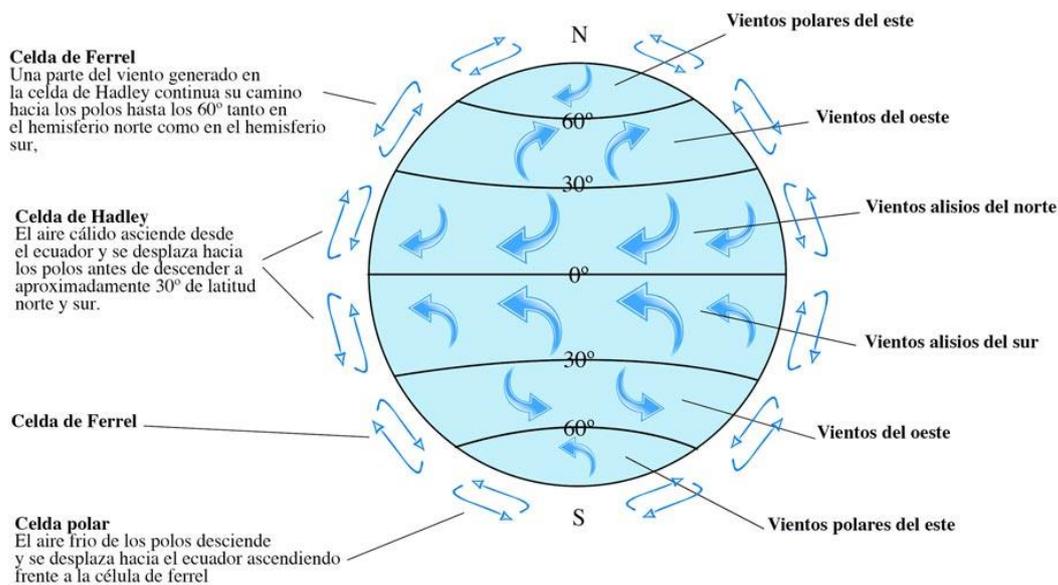


Fig. 3.2 Circulación general del aire.

Fuente: (Gómez, SailandTrip, 2014)

En aquellas zonas en donde la radiación solar es más intensa, como en el Ecuador, el globo terrestre acumula calor principalmente en el océano, calor que, por el contrario, se pierde en los Polos; sin embargo, ni el Ecuador ni los Polos vienen a ser, por término medio, los lugares más calientes, o más fríos, de la superficie terrestre.

Un modelo de la circulación general de los vientos son los vientos alisios. Al calentarse el aire en el Ecuador asciende y es sustituido por el aire más próximo a los Polos, formándose la llamada circulación de Hadley, que se hace inestable a unos 30° de latitud y causan unos vientos generales que actúan sobre a las islas Canarias.

Este flujo no se efectúa sobre los Polos debido a la fuerza de Coriolis que surge como resultado del movimiento de rotación de la Tierra ya que este modifica su curso; esto depende de la velocidad del viento y de la rotación de la Tierra, por lo que las masas de aire caliente se trasladan hacia el Este; la circulación general es semejante y simétrica en cada uno de los dos hemisferios.

3.2 Corriente en chorro o jet stream.

Es un área de fuertes vientos concentrados en una franja relativamente angosta en la troposfera alta (o tropopausa) de las latitudes medias y en regiones subtropicales de los hemisferios norte y sur. Fluye en una banda semicontinua alrededor del globo de oeste a este y es producto de los cambios en la temperatura del aire cuando el viento polar se mueve hacia el ecuador encontrándose con el cálido viento ecuatorial que se dirige al polo. Se caracteriza por la concentración de isotermas y por fuertes gradientes transversales.

Se origina por encima de los 10.000 metros a una presión de 300 mb (milibares); siendo su velocidad media de 200 km/hora, pero puede llegar a sobrepasar los 500 km/hora. A lo largo del eje del chorro circulan otras corrientes de aire a velocidades diferentes.

El desplazamiento de las masas de aire se efectúa desde las zonas en las que la presión de la atmósfera y, por lo tanto, la del aire, es más elevada (anticiclones), hacia las zonas de presión más baja (depresiones ó ciclones), por la aceleración de Coriolis.

Las depresiones y los anticiclones están representados en las cartas meteorológicas por el trazado de las isobaras.

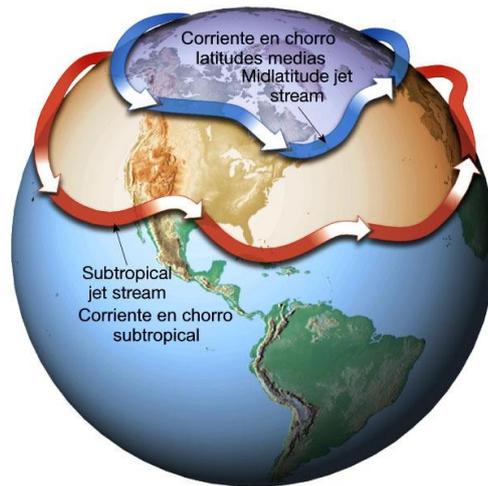


Fig. 3.3 Circulación general del aire.

Fuente: (gil, 2010)

La circulación general en superficie está sujeta al reparto medio de las presiones a lo largo de un cuarto de meridiano terrestre. En el hemisferio Norte existe un centro anticiclónico en el Polo, un eje de depresión hacia los 60°N, un eje anticiclónico hacia los 30°N, conocido como cinturón subtropical, y una banda de depresión hacia el Ecuador. El viento contornea los anticiclones en el sentido de las agujas del reloj, moviéndose hacia las depresiones, y las contornea en sentido contrario. Un esquema de vientos generales es el siguiente:

- Entre 90°N y 60°N, aire ártico (muy frío) (Circulación de Rossby)
- Entre 60°N y 40°N, aire polar (frío)
- Entre 40°N y 5°N, aire tropical (templado)
- Entre 5°N y 5°S, aire ecuatorial (cálido)

Las masas de aire, así como los ejes de depresión (60°) y anticiclónicos (30°), se trasladan según las estaciones, en el sentido del movimiento aparente del Sol; en el hemisferio Norte existe, en invierno, una traslación general hacia el Norte, y en verano hacia el Sur. En el hemisferio Sur sucede al revés; estos vientos se denominan monzones. Las condiciones generales de los vientos son transformadas localmente por temporales y gradientes de temperatura originados por los desiguales calentamientos de superficies de tierra y agua o por accidentes orográficos; luego los vientos vienen dirigidos por definitivos centros de acción de la atmósfera. La atmósfera no es homogénea, siendo

fraccionada en un número grande de masas de aire más o menos calientes; la transición entre dos masas de aire puede ser lenta y continua o brusca, componiendo entonces una superficie frontal que forma una cierta pendiente en la que el aire caliente, más ligero, está por encima del aire frío.

Se llama frente a la proyección sobre el suelo de una superficie frontal; por ejemplo, en el hemisferio Norte, el frente polar atlántico, que representa la zona de separación entre el aire polar dirigido por la depresión de Islandia y el aire tropical conducido por el anticiclón de las Azores.

Los frentes no son invariables ya que el aire frío tiende a descender hacia el Ecuador, mientras que el aire caliente tiende a dirigirse hacia el Polo, produciéndose una ondulación que se desarrolla, al tiempo que es capturada por las corrientes de aire del Oeste, acompañada de una depresión móvil. Cuando el aire caliente asciende se crea un frente cálido; cuando el aire frío desciende se crea un frente frío.

El conjunto frente cálido-frente frío constituye una perturbación; el frente frío alcanza al frente cálido, y el aire caliente es proyectado hacia arriba, formándose un frente ocluido. Una sucesión de perturbaciones, suele estar ligada a diferentes sistemas nubosos característicos, que determinan así los diferentes tipos de vientos.

3.3 Tipologías De Vientos.

El discernimiento de los vientos generales no es suficiente para la educada utilización y ubicación de máquinas accionadas por el viento, al concurrir factores que alteran el régimen general y que deben ser tenidos en cuenta a la hora de realizar un proyecto de este tipo.

Hay un axioma (Bjerknes) que indica el movimiento o sentido de giro del viento: Cuando el gradiente de presión y el gradiente de temperatura poseen distinta dirección, se origina una circulación de aire de sentido a la vía más corta desde el gradiente de presión al de temperatura. Los deslizamientos verticales del aire son pequeños en relación a los deslizamientos horizontales, por lo que la dirección del deslizamiento del viento es sensiblemente horizontal y se fija y refiere mediante el ángulo que forma respecto a una

dirección fija, que es la del Norte geográfico.

Tanto los vientos generales, como los sinópticos, están ligados a la circulación atmosférica y conservan las mismas características sobre grandes extensiones de terreno.

El viento sinóptico sopla prácticamente en la horizontal, lo que permite esquematizar su movimiento por un vector orientado en el sentido hacia el cual sopla y cuyo origen está situado en el lugar de observación. Los vientos regionales están gobernados también por desplazamientos a la escala sinóptica, (que es más fina y precisa que la circulación general de Hadley). Se caracterizan en función de circunstancias meteorológicas dadas y precisas, como son la configuración isobárica y posición de los frentes considerando, tanto las condiciones geográficas regionales, como las locales (relieves, cotas, etc).

La concurrencia de las direcciones no es siempre una característica usual en concordancia con la situación isobárica media como es la posición respectiva media de los anticiclones y de las depresiones; los vientos particulares y locales son la prueba.

3.3.1 Brisas.

Brisas de mar o térmicas.

Los desplazamientos característicos del aire (tierra-mar) en las costas o (tierra-agua) en los lagos durante el día y la noche dan lugar a las brisas. La brisa marina, es debido a un descenso hacia la tierra del gradiente de presión barométrica, resultado del calentamiento diurno de la capa inferior del aire que está en contacto con la tierra; como la superficie de la mar contigua no se calienta con tanta rapidez, se mantiene más fría. En respuesta al gradiente de presión local, el aire se desplaza hacia la tierra a baja altura. Por la noche se invierte el gradiente de temperatura consecuencia de una mayor intensidad en el enfriamiento de la superficie del terreno; el gradiente de presión es entonces desde la tierra hacia el mar, causando un flujo de aire hacia el océano (la brisa terrestre). Las circunstancias locales (sin orografía alta, terreno con alto coeficiente de absorción del calor, inestabilidad térmica vertical, etc.), influyen de forma determinante en el potencial eólico de una

zona y se da el caso de que dos lugares muy próximos posean una gran diferencia de condiciones eólicas.

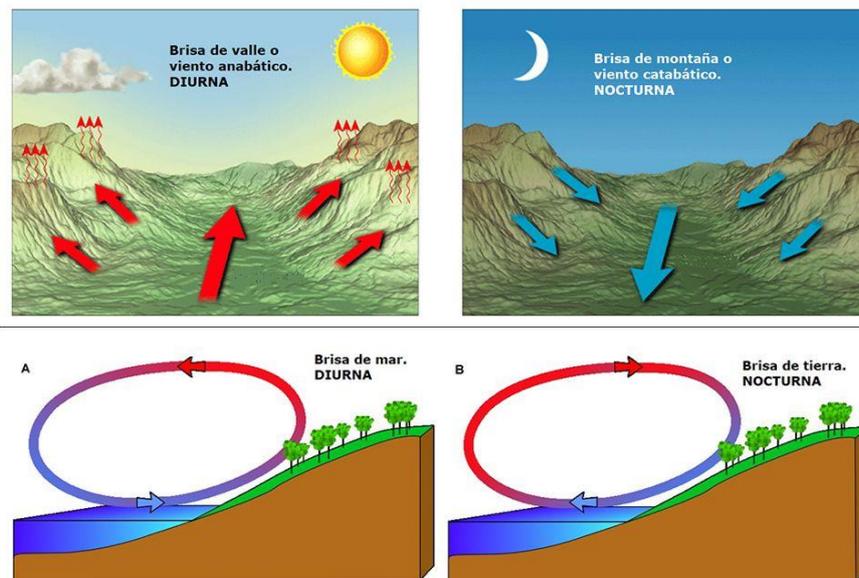


Fig. 3.4 Tipos de brisas.

Fuente: (Llorente, 2018)

3.3.2 Vientos Catabáticos Y Anabáticos.

El viento catabático, es el aire fresco y seco que desciende a sotavento de la montaña, después de haberse condensado toda la humedad de lado de barlovento.

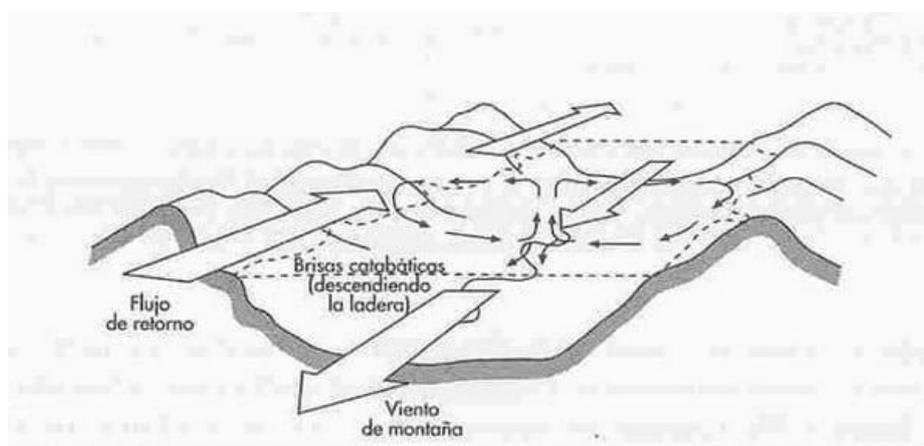


Fig. 3.5 Viento catabático.

Fuente: (Alvaréz, 2018)

El viento anabático, es el viento húmedo y cálido que se eleva por una ladera y que a su paso se condensa provocando la formación de nubes de tipo lenticular en la cima.

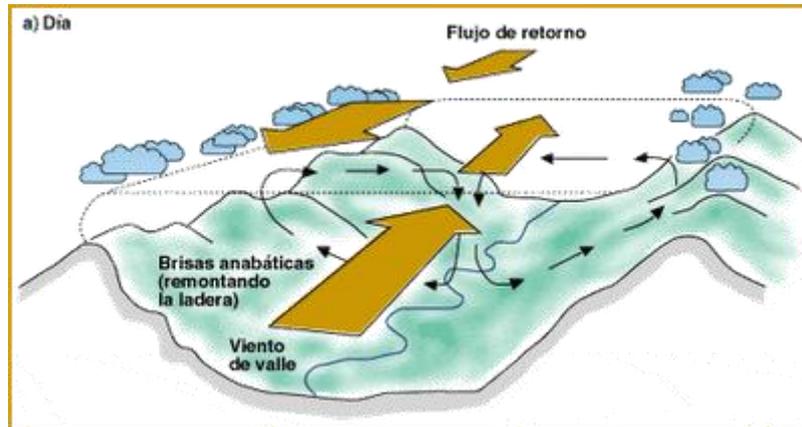


Fig. 3.6 Viento anabático.

Fuente: (Alvaréz, 2018)

Este tipo de viento muestra poca relación con las isobaras, ya que es formado por la dirección de los valles a través de los cuales desciende. El viento anabático es el que presenta una componente vertical ascendente, siendo el término opuesto a catabático. FÖHN. - El föhn es un viento fuerte, seco y cálido, que se produce en ocasiones en la ladera de sotavento (contraria a la que sopla el viento) de los sistemas montañosos, un föhn fuerte se crea precedido por un sistema de bajas presiones que avanza causando fuertes vientos en la troposfera media y alta. Cuando este sistema se acerca a una elevación, el aire sube por la ladera de barlovento, enfriándose por debajo de la temperatura de condensación, formando nubes que se conservan adosadas a las cimas de las montañas, creando precipitaciones, por lo que el contenido de humedad del aire baja y así el aire que desciende por sotavento es seco, calentándose en el descenso a razón de 10°C por km. Las superficies de pendientes suaves y desnudas de obstáculos son los mejores lugares de potencial eólico, puesto que se van juntando las líneas de corriente del fluido y hacen que su velocidad aumente.

3.4 Velocidad Del Viento.

El viento viene definido por dos, su dirección y su velocidad. La dirección del viento y su evaluación a lo largo del tiempo llevan a la ejecución de la llamada

rosa de los vientos.

La velocidad media varía entre 3 y 7 m/seg, según las diversas condiciones meteorológicas; es elevada en las costas, más de 6 m/seg, así como en valles más o menos estrechos. En otras regiones es de 3 a 4 m/seg, siendo mucho más elevada en las montañas, dependiendo de la altitud y de la topografía. La misma es más débil durante la noche, aumentando a partir de la salida del Sol y llegando a valores máximos entre las 12 y 16 horas solares.

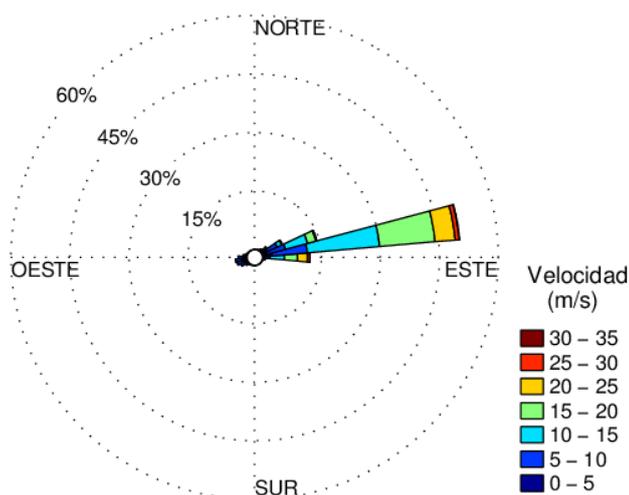


Fig. 3.7 Rosa de los vientos para la variable de velocidad del viento medida a 60 metros de altura.

Fuente: (Constante, 2015)

Para realizar su medición se utilizan los anemómetros; existen muy diversos tipos de estos aparatos, que por su principio de funcionamiento se pueden clasificar en anemómetros de rotación y anemómetros de presión.

- De rotación, el más característico es el de Papillon, que es un molino de eje vertical con cazoletas en forma de semiesfera o el de aletas oblicuas de Jules Richard.
- El anemómetro de presión se basa en el método del tubo de Pitot. básicamente de dos sondas de presión, una toma cuya superficie se coloca perpendicular a la dirección de la corriente (justo en el punto donde se desea conocer la velocidad), y de otra toma de presión con

superficie paralela a la dirección de la corriente. Con la primera toma se mide la presión de impacto, y con la segunda la presión estática, de forma que la diferencia entre ambas (medidas con un manómetro diferencial) es la presión cinética

La dirección del viento se comprueba mediante una veleta, mientras que la velocidad se mide con un anemómetro.

Según sea la velocidad se pueden considerar tres tipos de definiciones:

1. Viento instantáneo; se mide la velocidad del viento en un instante determinado.
2. Viento medio aeronáutico; se mide la velocidad media durante 2 minutos
3. Viento medio meteorológico; se mide la velocidad media durante 10 minutos

Hay que distinguir también entre golpe de viento y ráfagas.

La ráfaga es un incremento brutal y de corta duración de la velocidad del viento, propio de tormentas y borrascas.

El golpe de viento concierne a la velocidad media del viento, cuando sobrepasa los 34 nudos, 62 km/hora, y es una señal de advertencia, sobre todo para la navegación marítima. Un golpe de viento se corresponde con una velocidad media del viento comprendida entre 75 y 88 km/hora.

Las fuentes eólicas más atrayentes se encuentran en las costas marinas y en determinados pasos entre montañas; de algunas se puede disponer hasta más de 2.800 kWh/m² año.

Ya que las máquinas eólicas empiezan a producir para una determinada velocidad del viento, al tiempo que proporcionan la máxima potencia para unas velocidades iguales o superiores a una dada v_{nom} , es natural que los datos a utilizar sean las curvas de duración de velocidad que se pueden convertir en curvas energéticas utilizando en el eje de ordenadas magnitudes $(N = k \cdot v^3)$ que suministran la potencia disponible en el viento para cada velocidad y de la que sólo es posible extraer una fracción. Esta curva tiende a aplanarse cuando aumenta el tiempo durante el cual el viento persiste a una

cierta velocidad.

En una máquina eólica se pueden considerar tres velocidades del viento:

La velocidad de conexión $v_r \text{ conex}$ es la velocidad del viento por encima de la cual se genera energía.

La velocidad nominal $v_r \text{ nom}$ es la velocidad del viento para la cual la máquina eólica alcanza su potencia nominal. Por encima de esta velocidad la potencia extraída del viento se puede mantener constante.

La velocidad de desconexión $v_r \text{ emb}$ es la velocidad del viento por encima de la cual la máquina eólica deja de generar, porque se embala; los sistemas de seguridad comienzan a actuar frenando la máquina, desconectándola de la red a la que alimenta.

3.5 Energía Útil Del Viento

Es la potencia eólica disponible que atraviesa una superficie A y hace un recorrido L en el tiempo t producida por una corriente de aire de densidad ρ y velocidad v , de este concepto se obtienen las siguientes consecuencias:

a) La energía del viento varía fuertemente con la velocidad v , siendo preciso hacer las mediciones de v en el lugar exacto donde se quiera instalar la Aero turbina.

b) La energía del viento varía con la densidad del aire ρ , a causa de las variaciones de presión y temperatura, en valores que pueden oscilar de un 10% a un 15% a lo largo del año.

3.5.1 Curvas De Potencia De Un Aero Generador.

Mediante el estudio de las curvas de potencia se puede conocer cuando una Aero turbina suministra energía. Cuando el viento supera la velocidad mínima v_{conex} la máquina comienza a suministrar potencia acrecentando ésta a medida que aumenta la velocidad del viento, hasta que éste alcanza una velocidad nominal que se concierne a la potencia nominal del generador; para velocidades superiores los sistemas de control conservan constante la potencia, impidiendo una sobrecarga en el generador. Las curvas que relacionan la velocidad del viento, con el número de horas de funcionamiento

del aerogenerador. Permiten obtener la curva de potencia disponible del viento, y la curva de potencia eléctrica suministrada por el aerogenerador. El área por debajo de esta última, proporciona la energía eléctrica generada en un año, siendo habitual expresar estas potencias y energías, por unidad de superficie barrida por el rotor.

Sobre la energía en el viento es conocido que la potencia del viento varía proporcionalmente con el cubo de la velocidad del viento (la tercera potencia), y a la densidad del aire (su masa por unidad de volumen).

Ahora podemos combinar todo lo que hemos aprendido hasta el momento: si multiplicamos la potencia de cada velocidad del viento con la probabilidad correspondiente en la gráfica de Weibull (distribución de probabilidad continua), podemos calcular la distribución de energía eólica a diferentes velocidades del viento igual a la densidad de potencia. Por tanto, las altas velocidades del viento tienen la mayor parte de la potencia del viento.

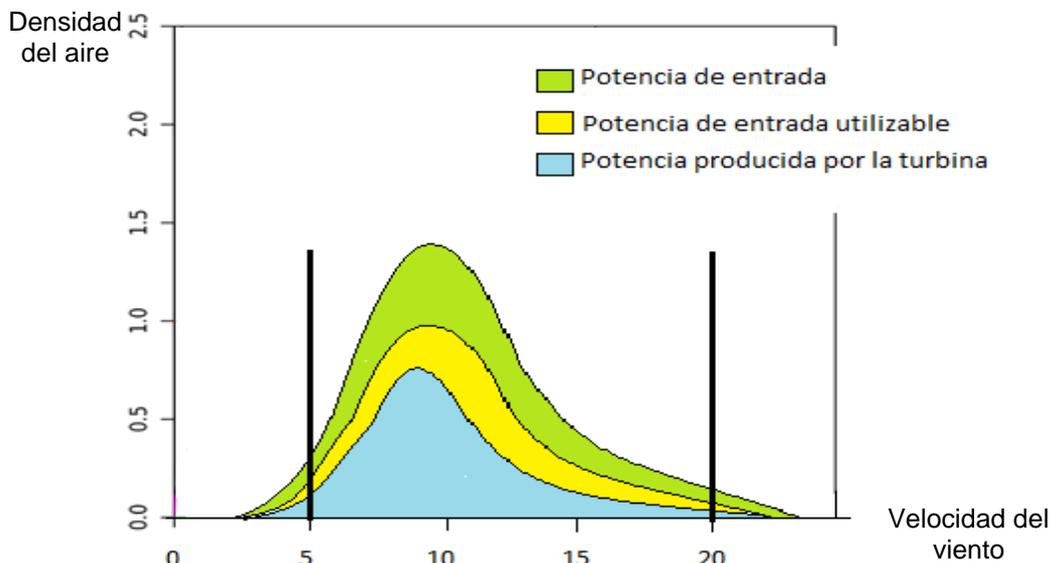


Fig. 3.8 Distribución de Weibull.

Fuente: Investigador

De densidad de potencia a potencia disponible En el gráfico de la fig. 3.8, el área bajo la curva verde nos da la cantidad de potencia eólica por metro cuadrado de flujo del viento que puede pronosticarse en este emplazamiento en particular. En este caso tenemos una velocidad del viento media de 7 m/seg y un Weibull aproximado $k = 2$, por lo que tenemos 402 W/m^2 . Observe

que esta potencia es casi el doble de la obtenida cuando el viento sopla constantemente a la velocidad media.

El gráfico consta de cierto número de columnas estrechas, una para cada intervalo de 0,5 m/seg. de la velocidad del viento. La altura de cada columna es la potencia (número de vatios por metro cuadrado), con la que cada velocidad del viento contribuye en el monto total de potencia disponible por metro cuadrado.

El área bajo la curva amarilla indica qué cantidad de potencia puede ser teóricamente convertida en potencia mecánica (según la ley de Betz, será 16/27 de la potencia total del viento).

El área total bajo la curva azul nos dice cuál será la potencia eléctrica que un aerogenerador producirá en dicho emplazamiento.

Del gráfico lo más importante es observar que la mayor parte de la energía eólica se hallará a velocidades por encima de la velocidad promedio del viento en el emplazamiento. No es tan sorprendente como parece, ya que sabemos que las velocidades del viento altas tienen implícito un contenido energético mucho mayor que las velocidades bajas.

El coeficiente de potencia indica con qué eficiencia el aerogenerador transforma la energía del viento en electricidad. Luego podemos calcular cuál es valor real del coeficiente para un aerogenerador dado: Simplemente dividiremos la potencia eléctrica disponible por la potencia eólica de entrada. O sea, tomamos la curva de potencia y la dividimos por el área del rotor para obtener la potencia disponible por metro cuadrado de área del rotor, después, para cada velocidad del viento, dividimos el resultado por la cantidad de potencia en el viento por metro cuadrado.

El gráfico muestra la curva del coeficiente de potencia para un aerogenerador danés típico, fig. 3.9. Aunque la eficiencia media de estos aerogeneradores suele estar por encima del 20 por cien, la eficiencia varía mucho con la velocidad del viento (pequeñas oscilaciones en la curva suelen ser debidas a errores de medición).

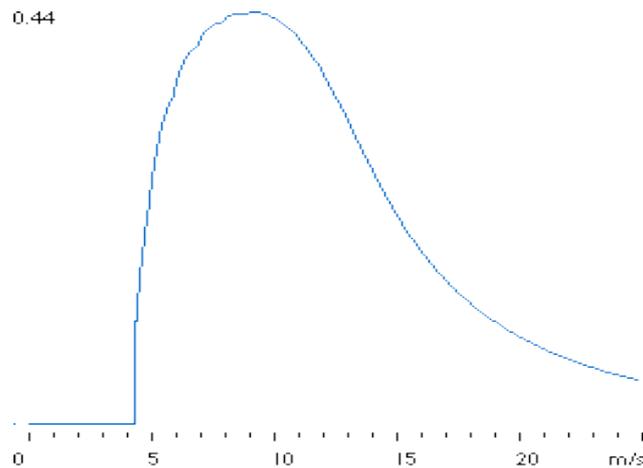


Fig. 3.9 Curva Del Coeficiente De Potencia Para Un Aerogenerador Danés.

Fuente: Investigador

Es observable que la eficiencia mecánica del aerogenerador más alta (en este caso del 44%) se da a velocidades alrededor de 9 m/seg. Este valor es elegido por los ingenieros que diseñan la turbina. A bajas velocidades del viento la eficiencia no es tan alta, ya que no hay mucha energía que aprovechar. A altas velocidades del viento, la turbina debe disipar cualquier exceso de energía por encima de aquella para la que ha sido diseñado el generador. Así pues, la eficiencia interesa sobre todo en la zona de velocidades de viento donde se localiza la mayor parte de la energía.

Una mayor eficiencia técnica no es el camino a seguir. No es un fin el tener una gran eficiencia técnica en un aerogenerador. Lo que en realidad interesa es el coste de sacar los kWh del viento durante los próximos 20 años. Ya que el combustible es gratis no hay necesidad de ahorrarlo. Por otro lado, la turbina óptima no tiene por qué ser la de mayor producción anual de energía. Además, cada metro cuadrado de área de rotor cuesta dinero, por lo que, por supuesto, es necesario obtener toda la energía que se pueda (mientras puedan limitarse los costes por kWh).

La curva de potencia de un aerogenerador es un gráfico que indica cuál será la potencia eléctrica utilizable en el aerogenerador a diferentes velocidades del viento. Dos velocidades particulares en estas curvas son:

Velocidad de conexión; Normalmente, los aerogeneradores están diseñados

para empezar a girar a velocidades del viento alrededor de 3-5 m/seg. Es la llamada velocidad de conexión. El área amarilla de la fig. 3.9 a la izquierda de la línea muestra la pequeña cantidad de potencia perdida ya que la turbina sólo empieza a funcionar a partir de los 5 m/seg aproximadamente.

Velocidad de corte; El aerogenerador se programará para pararse a altas velocidades del viento, aproximadamente a los 20 m/seg, para evadir posibles daños en la turbina o en sus alrededores. A la velocidad del viento de pausa o parada se le designa el nombre de velocidad de corte. La insignificante área amarilla de la derecha representa la pérdida de potencia.

Las curvas de potencia se adquieren a partir de medidas realizadas en campo, dónde un Anemómetro es colocado sobre un mástil cerca del aerogenerador (no sobre el mismo), pues el rotor del aerogenerador puede crear turbulencia, y falsear la medida de la velocidad del viento. Si la velocidad del viento no está variando rápidamente, pueden emplearse las medidas de la velocidad del viento tomadas con el anemómetro y leer la potencia eléctrica disponible directamente del aerogenerador, y dibujar los dos tipos de valores conjuntamente en un gráfico similar al de la fig. 3.9.

Incertidumbre en mediciones de curvas de potencia

En la fig. 3.10. (construida justo como acaba de explicarse) puede verse una nube de puntos esparcidos en torno a la línea negra, y no una curva bien determinada. La causa es que en la práctica la velocidad del viento siempre oscila, y no se puede medir puntualmente la columna de viento que pasa a través del rotor del aerogenerador (colocar un anemómetro justo enfrente del aerogenerador no es una solución factible, ya que el aerogenerador también proyectará una barrera que aplacará el viento enfrente de él). Así pues, en la práctica se debe tomar un valor medio de las diferentes medidas para cada velocidad del viento, y graficar con esos valores. Al mismo tiempo, es difícil hacer medidas exactas de la propia velocidad el viento. Si se tiene un 3 por ciento de error en las mediciones, entonces la energía del viento puede ser un 9 por ciento superior o inferior. Como resultado, pueden existir errores hasta de $\pm 10\%$ aun en curvas certificadas.

Las curvas de potencia están basadas en medidas realizadas en zonas de baja intensidad de turbulencias, y con el viento en dirección hacia la parte delantera de la turbina. Las turbulencias locales y los terrenos complejos (aerogeneradores situados en una pendiente rugosa) pueden acarrear ráfagas de viento golpeando en el rotor desde diversas direcciones. Consecuentemente, puede ser difícil modelar con precisión la curva en una localización determinada.

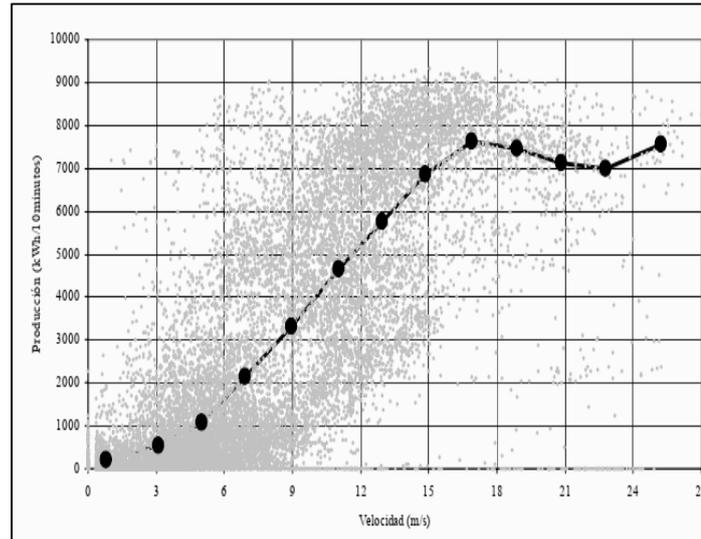


Fig. 3.10 Curva De Potencia Con Relación A La Velocidad.

Fuente: Investigador

3.5.2 El factor de carga.

Otro método de obtener la producción anual de energía de un aerogenerador es tomar los valores del factor de carga de una turbina en la localización de interés. Con factor de carga nos referimos a la producción anual de energía dividida por la producción máxima, si la máquina estuviera en servicio, a su potencia nominal durante las 8766 horas del año.

Ejemplo: si una turbina de 500 kW produce 1,2 millones de kWh al año, su factor de carga es $1.200.000 : (365,25 * 24 * 500) = 1.200.000 : 4.383.000 = 0,273 = 27,3 \%$.

Los factores de carga pueden variar en teoría del 0 al 100, aunque en la práctica el rango de variación va del 20 al 70 %, y continuamente alrededor del 20 al 30 %.



Aunque corrientemente se optaría por tener un gran factor de carga, en ocasiones no es favorable desde la perspectiva económica. Esto puede ser no muy fácil de percibir para los que están habituados a la tecnología convencional y nuclear.

En zonas con mucho viento es favorable usar un generador más potente con el mismo diámetro de rotor (o diámetro de rotor más pequeño para un tamaño específico de generador). contribuyendo a disminuir el factor de carga (utilizando menos de la capacidad de un generador grande), logrando una producción mayor. Si merece la pena tener un menor factor de carga con un generador mayor, depende de las condiciones eólicas y del precio de los diferentes modelos de turbinas.

Por otra parte, se podría elegir entre una producción de potencia estable (en el límite del diseño del generador) con un alto factor de carga, o bien una alta producción de energía, aunque inestable con un bajo factor de carga.

3.6 Instalaciones Eólicas

El parque eólico.



Fig. 3.11 Parque Eólico.

Fuente: (Cates, 2020)

Perspectiva económica; Desde que se inicia el proceso de construcción de un parque eólico hasta que los aerogeneradores instalados empiezan a generar energía a la red eléctrica suelen pasar más de cinco años.

Para este periodo, Se habrán realizado evaluaciones de viento, análisis de la

viabilidad económica, redactado el proyecto técnico ejecutivo y un estudio de impacto socio-ecológico, negociar el patrimonio de los terrenos, resolver la evacuación eléctrica, adquirir financiación, lograr todos los permisos administrativos, construcción de viales de acceso, cerrar los contratos de compra-venta de la energía, transportar las piezas, montar los aerogeneradores en cuestión y dar puesta en marcha. En fin, es sin lugar a dudas de un largo y arduo camino. Y, además, caro, pues una instalación requiere una inversión de decenas o cientos de millones que ha de amortizarse a largo plazo. Por lo cual, solo se iniciará el proyecto si al principio del todo se demuestra que es viable ambiental, social y económicamente. Dependiendo de los vientos que soplen en el lugar en cuestión, derivándose la necesidad de contar con evaluaciones exhaustivas. Un error del 10% en la apreciación de la velocidad media puede llegar a comprometer pérdidas del 30% en la producción de energía.

Existen simulaciones numéricas, basadas en modelos físico-estadísticos, como las que suministra el software informático WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program) con las Tecnología que se pueden calcular distribuciones espaciales de la velocidad del viento y la producción de energía deseada a largo plazo en una determinada localización. Mediante la ingeniosa composición en el ordenador de la descripción minuciosa del terreno y datos eólicos reales, alcanzados durante períodos de tiempo considerables, otorgados por estaciones meteorológicas de referencia cercanas, se obtiene el atlas eólico local. Este atlas será empleado, junto con las características de los aerogeneradores seleccionados (curva de potencia y empuje) para el diseño basado en cálculos de la producción energética de cada lay-out (distribución de aerogeneradores) propuesto.

Resulta angosto medir los parámetros del viento a la altura a la que vaya a emplazarse el buje de los aerogeneradores y, más cuando la zona sea grande o accidentada topográficamente hablando, y a su vez en varios puntos del área a utilizarse. Y no solo es necesaria la velocidad promedio, que no deja de ser un valor medio de los vientos más rápidos y más lentos, y que no describe realmente la distribución estadística de la velocidad del viento. Se puede llevar a sobreestimar los recursos, pudiendo existir vientos rápidos pero



escasos, que aporten mucha más energía que otros lentos, aunque muy abundantes (sin olvidar que la energía del viento aumenta proporcionalmente a la tercera potencia del valor numérico de la velocidad).

Tras valorar de forma rigurosa la velocidad del viento y estimar la producción de energía predecible es analizar la viabilidad económica. Para valorar el proyecto se toma en consideración la inversión necesaria para promover, construir y poner en marcha la planta, los costes de explotación a lo largo de la vida útil de la misma y la suposición de la evolución en el tiempo del precio percibido por cada kilovatio-hora puesto en la red de Suministro. Con estos datos y aplicando la tasa impositiva oportuna será más que suficiente para calcular aproximadamente el beneficio anualmente y, sumando la amortización, los flujos de caja, para calcular la rentabilidad económica del proyecto. Y, por tanto, la decisión de seguir adelante con la inversión.

En concordancia con datos facilitados por los propietarios de los parques eólicos a las comunidades autónomas, transmitidos y corroborados por la experiencia, la inversión total, llevada al “momento cero”, se establece en 940 USD/MW (IVA no incluido).

Las particularidades del parque son:

- Potencia nominal
- Potencia unitaria máquina
- Diámetro rotor / Altura buje
- Orografía y accesibilidad
- Línea de evacuación

El desglose porcentual de la inversión se corresponde a:

- Aerogeneradores: 74%
- Equipamiento Eléctrico: 17%
- Obra Civil: 5%
- Varios: 4%

En el Equipamiento Eléctrico se incluyen los transformadores de BT/MT que por lo general se encuentran instalados dentro del aerogenerador. Así como la financiación de la ejecución de nuevas líneas de distribución/transporte o

en la remodelación y repotenciación de las ya existentes, incluso alejadas del parque eólico en cuestión, pero obligatorias para permitir su evacuación.

3.6.1 Tecnología.

El suministro se realiza “llave en mano”, donde el único contratista ocupa solidariamente ante la Propiedad y las entidades financieras el riesgo de ejecución y puesta en marcha del parque; Bajo esta modalidad de suministro la Propiedad se priva en buena parte del proyecto durante la fase de ejecución. El contratista se hace cargo de todo lo necesario para poner en marcha la planta, responsabilizándose del Suministro, Ingeniería, Construcción, Transporte, Instalación, Pruebas, Puesta en Marcha, Ensayos de Maniobra, Dirección del Proyecto, Seguridad y Salud, Control de Calidad, Seguros, Vigilancia, etc. Por su parte, la Propiedad contrata al Director Facultativo y al Coordinador de Seguridad y Salud para aseverar la buena marcha del proyecto, así como la Asistencia Técnica externa durante la fase de construcción. El gasto que acarrearán estos tres conceptos se incluye en el apartado otros gastos, junto con los gastos de promoción del proyecto.

Si el suministro se contrata por partidas el monto total sería menor, aunque la Propiedad tendría que supervisar y controlar estrechamente el avance del proyecto para evitar desorientaciones y errores en la programación de la ejecución que acrecentarían sin lugar a dudas el coste de la instalación.

Por otra parte los intereses, abonados por la Propiedad para la financiación a través del convenio con el banco de un crédito pueden realizarse durante la fase de construcción, desde la firma del contrato “llave en mano” hasta su puesta en marcha, así como los intereses asociados al préstamo a corto plazo consentido por las entidades financieras para la financiación del IVA de la inversión, recuperándose en un estimado del 2,5% de la totalidad, y están incluidos proporcionalmente en los equipos Aerogeneradores, el equipamiento Eléctrico y la Obra Civil.

Durante los últimos años los gastos de explotación han tenido una considerable depreciación, que mejora la fiabilidad y disponibilidad de los equipos. Representando un promedio del 22% de la facturación anual del parque (1,5 cUSD/kWh sobre unos ingresos, y pueden desglosarse porcentualmente:

- Operación y Mantenimiento 57%
- Alquiler de terrenos 16%
- Seguros e Impuestos 14%
- Gestión y Administración 13%

Las cifras anteriores incorporan los valores medios a lo largo de la vida útil de la instalación, apreciada sobre los 20 años. Siendo estimada una garantía inicial dada por el fabricante (o el proveedor de la instalación) de dos a tres años, tiempo en el cual durante gastos de mantenimiento son nulos o despreciables (facturándose solamente los consumibles, el correctivo está cubierto por la garantía) y son llevados a cabo por el Contratista.

La partida de mantenimiento puede desglosarse a su vez en:

- Aerogeneradores 87%
- Resto de instalaciones 13%

Cada uno de estos se divide en gastos de personal, repuestos y consumibles.

3.6.2 Rentabilidad del proyecto.

La variante realizada para el cálculo de la rentabilidad de una inversión (sin financiación) para un parque tipo, con una producción que promedia de 2.350 horas anuales, en relación con los gastos de explotación de acuerdo con el IPC previsto (2,5%), no se modificarán en términos reales a lo largo de su vida.

En cuanto a los ingresos por venta de energía eléctrica generada utilizando la variante de tarifa regulada, durante la vida útil de la instalación (20 años), estimada en un incremento medio anual del 2%.

Con los valores anteriores se logra una tasa interna de rendimiento (TIR) de la inversión, sin financiación, después de impuestos superior al 7% y sin riesgo regulatorio.

3.6.3 Composición Y Diseño Del Parque.

El diseño de cada parque va a estar en manos de la tecnología a utilizar, las circunstancias del viento y del proyecto específico realizado por el inversionista, junto con las condiciones impuestas por los órganos de consulta

implicados en su aprobación, fundamentalmente de carácter impacto ambiental y urbanístico. A pesar de esto, toda instalación de estas características debe contar con los siguientes elementos:

Terrenos

Por lo general, el sólo hecho de observar la naturaleza resulta de utilidad a la hora de localizar un emplazamiento apropiado para el parque. Los árboles y matorrales de la zona serán una buena pista para saber cuál es la dirección de viento dominante. Si nos desplazamos a lo largo de un litoral accidentado, Nos daremos cuenta que siglos de erosión han realizado su trabajo en una dirección en particular. Los datos meteorológicos, obtenidos en forma de rosa de los vientos durante un plazo de 20 años, será sin dudas su mejor guía, aunque rara vez estos datos son recogidos en un emplazamiento, por lo que hay que ser muy cuidadosos al utilizarlos. Si ya existen aerogeneradores en esa área, sus derivaciones de producción son una excelente guía de las características de los vientos locales. En algunos países, en los que a menudo se encuentran aerogeneradores dispersos por el campo, los diseñadores del parque pueden prometer resultados de producción garantizados fundándose en cálculos eólicos realizados en el emplazamiento.

Los terrenos sobre los que se emplazan los parques eólicos suelen ser propiedad de municipios o particulares a los que se alquila (el alquiler en valor medio esta al rededor del 3,5% del valor de la energía generada, aunque los límites poseen gran variabilidad, entre el 1% y el 12%, dependiendo primordialmente del potencial eólico y de la voluntad de negociar de ambas partes). Este alquiler está ayudando muy positivamente a promocionar la energía eólica en las poblaciones rurales. Por otra parte, unas de los beneficios de esta fuente de energía es que la instalación de los aerogeneradores no impide que sigan fructificando los terrenos en usos como campos agrícolas o pastos.

Para parques off-shore(marítimos) las superficies de mares y lagos son comprensiblemente muy lisas, por lo que la rugosidad de la superficie marina es muy baja (a velocidades constantes del viento). Con velocidades crecientes, parte de la energía produce oleaje, involucrando un

acrecentamiento de la rugosidad. Una vez desarrolladas las olas, la rugosidad decrece de nuevo. Por lo que tenemos una superficie de rugosidad variable (lo mismo ocurre en zonas cubiertas con más o menos nieve). De manera general, puede considerarse que la rugosidad de la superficie del agua es muy baja y que los obstáculos del viento son mínimos. En los cálculos deberán considerarse las islas, faros, etc. tal y como se tendrían en cuenta los obstáculos situados en la dirección de donde viene el viento o los cambios de rugosidad en la tierra.

3.6.3 Aerogeneradores.

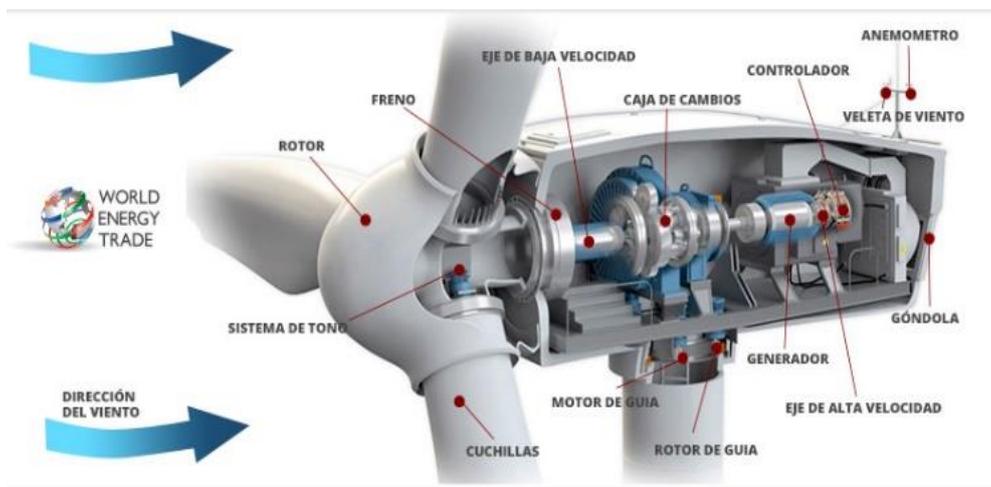


Fig. 3.12 Partes turbina eléctrica.

Fuente: (Mechanics, 2019)

Con aras de lograr un máximo aprovechamiento de los recursos eólicos, los aerogeneradores deben alinearse de forma perpendicular (de frente) a la dirección predominante de los vientos para que suministren mayor generación eléctrica. La separación entre máquinas dependerá del diámetro de los rotores, la disponibilidad de terreno y la dirección de los vientos dominantes sin que afecte la turbulencia de uno al otro. Ordinariamente se superan los 2,5 diámetros del rotor para aerogeneradores ubicados en una misma hilera y los 7,5 diámetros para aerogeneradores de hileras paralelas. Debe tenerse en cuenta el tamaño cada vez mayor de las Aero turbinas y la necesidad de viales amplios por los que entren los vehículos con las piezas de repuesto y las grúas de montaje para elevar góndolas con pesos alrededor de las 100 toneladas (y

en un futuro próximo superiores).

Infraestructura eléctrica

Un parque eólico demanda toda una infraestructura eléctrica para acopiar la energía de los aerogeneradores (normalmente a 690 voltios de tensión) y entregarla a la línea de distribución de la compañía eléctrica o hasta las grandes líneas de transmisión (de hasta 400.000 V). En instalaciones de poca potencia la evacuación se realiza a la tensión de generación de los aerogeneradores hasta un transformador que eleva la tensión hasta la existente ya sea Media Tensión (MT) o Alta Tensión (AT), en el punto de conexión, siendo las pérdidas eléctricas un dato a considerar. En grandes instalaciones, por lo general se agrupan por sectores los aerogeneradores, utilizando transformadores. Para ello se necesitan líneas de media tensión aéreas, de unos 30.000 V (MT), que van desde los transformadores hasta una subestación de distribución del parque, donde se eleva la tensión hasta alcanzar la de la distribución o transmisión de la compañía eléctrica. Si ya hay muchas turbinas conectadas a la red, la red puede necesitar refuerzo, es decir, un cable más grande, conectado quizás más cerca de una estación de transformación de más alto voltaje.

Para contribuir con el impacto visual que ocasionan en el paisaje los centros de transformación dispersos por el parque, es habitual que los aerogeneradores contengan en su interior (dentro de la torre) el transformador que eleva de baja a media tensión BT/MT (minimizando pérdidas eléctricas, pero incrementándose la inversión) y a través de líneas soterradas llevar la energía generada hasta la subestación central del parque.

3.6.3.2 Infraestructura de control.

A pesar de que un parque eólico es totalmente automatizado y no solicita la intrusión humana para funcionar, a partir de cierto tamaño estas instalaciones cuentan con un centro de control que recibe y analiza todos los datos de su trabajo y datos ambientales registrados por los aerogeneradores. Así un operador puede monitorear desde su equipo de cómputo todos los pormenores del parque o detectar cualquier incidencia o falla, resultando de gran utilidad al optimizar su operación. Los valores captados se utilizan también para generar bases de datos del trabajo del parque, que son

esenciales para implementar y poner a punto el programa de mantenimiento preventivo de la instalación.

Otras dependencias

La instalación suele contar además con algún almacén donde guardar repuestos, consumibles y herramientas y donde acumular el aceite usado de los aerogeneradores. Este es el residuo más importante generado por una instalación, ya que cada 18 meses se debe renovar el aceite de las máquinas.

CONCLUSIONES

La energía es un factor primordial para alcanzar objetivos en materia de desarrollo sostenible. La magnitud de las necesidades energéticas del planeta actualmente con respecto al desarrollo sostenible queda al considerar que aproximadamente 6.000 millones de habitantes de la población mundial, viven en países en desarrollo, continúan sin acceso a servicios de energía y transporte. Los inmensos contrastes entre los consumos de energéticos de cada país y entre países desarrollados y en desarrollo, las particularidades de producción, distribución y aprovechamiento de la energía son insostenibles.

Con vista a resolver esta disyuntiva para el futuro se requerirán nuevos recursos en cantidades bastas y predecibles, tales como traspasos tecnológicos, según concierna, voluntad y la firme determinación de encontrar nuevas maneras de emplear en las diferentes secciones de la economía tecnologías y sistemas de elevado beneficio energético, eficaces para el medio ambiente. Los recursos energéticos son cuantiosos y a los países desarrollados les corresponde abrir la puerta a los países en desarrollo las variantes tecnológicas ya existentes, para crear una realidad de la idea de poseer energía para el desarrollo sostenible en estos países. proveer a las generaciones futuras un camino basto a la energía de manera que sea racional desde el punto de vista ecológico, socialmente y económicamente factible.

Ya que por la utilización de combustibles fósiles se ha contribuido en distinta medida a la degradación del medio ambiente mundial, los Estados son responsables comunes de esta situación, la aplicación de políticas para optimizar las tecnologías para obtener la energía necesaria para el desarrollo sostenible corresponde esencialmente a los gobiernos. No obstante, los recursos financieros juegan un papel fundamental en su aplicación. La escasez futura de los combustibles fósiles nos arroja al borde de un precipicio para el cual la única salida es la de atañernos a el empleo de las energías de carácter renovables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al corriente de la electricidad. 111 preguntas y respuestas para estudiantes de ESO y Bachillerato. UNESA. 2004.

Colección “Energías Renovables para todos”. Iberdrola. Haya Comunicación. 2003.

Cuaderno del profesor. Viaje a través de las energías. IDAE. 2002.

Energía. Calero, R.; Carta, J.A.; Padrón, J.M. Gobierno de Canarias y UNELCO-ENDESA. 2007.

Energía Eólica. IDAE y APIA. 2006.

EurObserv'ER. Barómetros de energías renovables en la UE.

Guía práctica de la energía. Consumo eficiente y responsable. IDAE. 2004.

Guía solar. Greenpeace. 2005.

Plan de energías renovables 2005 – 2010. IDAE. 2005.

Sobre el papel de la energía en la historia. Lorenzo, Eduardo. Progensa. 2006.

Danish Wind Industry Association. <http://www.windpower.org>

European Wind Energy Association. <http://www.ewea.org>

En condiciones de presión atmosférica a nivel del mar- 101,3 kPa y 20° C de temperatura.

Precios de futuros en la European Climate Exchange con vencimiento en 2012, enero de 2010.

UNFCC: United Nations Framework Convention on Climate Change.

ENERGÍA SOLAR Fotovoltaica OSCAR PERPIÑÁN LAMIGUEIRO

M. C. Alonso-García. “Caracterización y modelado de asociaciones de dispositivos fotovoltaicos”. Tesis doct. CIEMAT, 2005.

E. A. Alsema y M. J. de Wild-Scholten. “Environmental Impacts of Crystalline

Silicon Photovoltaic Module Production". Materials Research Society Symposium Proceedings 895 (2006).

Fargione, J. et al. (2008): "Land clearing and the biofuel carbon debt", Science, 319, 1235-1238

Liu, G. et al. (2011): "Making Fischer-Tropsch Fuels and Electricity from Coal and Biomass: Performance and Cost Analysis", Energy&Fuels, 25,415-437

Mohan, D. et al. (2006): "Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review", Energy&Fuels, 20, 848-889

Searchinger, T. et al. (2008): "Use of US croplands for biofuels increase greenhouse gases through emissions from land-use change", Science 319, 1238-1240

IEB Energía Biomasa. Energías Renovables

Bibliografía imágenes

Alvaréz, E. (18 de Junio de 2018). *Metereología en red* . Obtenido de Metereología en red : <https://www.meteorologiaenred.com/viento-catabatico.html>

Bellido, L. L., & López, R. J. (1 de Julio de 2015). *Agricultureros*. Obtenido de Agricultureros: <https://agricultureros.com/cultivos-energeticos-y-agricultura-sostenible/>

Biomara. (20 de julio de 2015). *Naukas*. Obtenido de Naukas ciencia, escepticismo y humor: <https://naukas.com/2015/07/20/cuarta-generacion-la-milla-verde/>

Blake, M. (27 de Enero de 2020). *El confidencial*. Obtenido de El confidencial: https://www.elconfidencial.com/tecnologia/ciencia/2020-01-27/biocombustible-desperdicio-comida-espana_2429372/

Campoverde, J. (15 de Octubre de 2016). *Combustibles alternativos*. Obtenido de Combustibles alternativos: <https://combustibles-alternativos.weebly.com/gas-de-siacutentesis.html>

Cates, K. (11 de Febrero de 2020). *Ambientum*. Obtenido de Ambientum:

<https://www.ambientum.com/ambientum/energia/parque-eolico-duracion-ilimitada.asp>

Constante, J. (15 de Diciembre de 2015). *ResearchGate*. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/figure/Figura-12-Rosa-de-los-vientos-para-la-variable-de-velocidad-del-viento-medida-a-60_fig12_291953472

Ecoticias. (26 de Abril de 2017). *Ecoticias.com*. Obtenido de Ecoticias.com: <https://www.ecoticias.com/energias-renovables/135310/Curso-de-Energia-de-la-Biomasa-que-dia-empezaras>

Facil, A. (15 de Mayo de 2017). *Aula Facil*. Obtenido de Aula Facil: <https://www.aulafacil.com/cursos/fisica-y-quimica/el-color/dispersion-137429>

Garcia, L. F. (9 de Noviembre de 2018). *Ingeniería y construcciones SAS*. Obtenido de Ingeniería y construcciones SAS: <https://www.hgingeneria.com.co/sabias-que-existen-tres-formas-de-aprovechar-la-energia-solar/>

García, S. V., & Gutiérrez, S. M.-C. (21 de Noviembre de 2018). *Divulga Medioambiente*. Obtenido de Divulga Medioambiente: <http://divulga-medioambiente.blogspot.com/2018/11/por-que-el-cielo-es-azul-la-dispersion.html>

gil, L. g. (6 de Noviembre de 2010). *Solo Geografía*. Obtenido de Solo Geografía: <http://leonciogazulla.blogspot.com/2009/11/la-corriente-en-chorro.html>

Gómez, J. (18 de Septiembre de 2014). *SailandTrip*. Obtenido de SailandTrip: <https://sailandtrip.com/vientos-alisios/>

Gómez, J. (13 de Enero de 2020). *Masmar*. Obtenido de Masmar tu portal náutico en internet.: <http://www.masmar.net/index.php/esl/Apuntes-N%C3%A1uticos/Meteorolog%C3%ADa/Circulaci%C3%B3n-general-de-los-vientos.-Alisios.-Callmas-tropicales.-Monzones>

González, J. G. (16 de Diciembre de 2014). *Infobiología*. Obtenido de Infobiología: <https://www.infobiologia.net/2014/11/estanques-concepto->

clasificacion.html

Hackenberg, N. (14 de Junio de 2017). *Arboles, Medioambiente y Sociedad* .
Obtenido de Arboles, Medioambiente y Sociedad :
<http://www.arbolesymedioambiente.es/bios-segunda-generacion.html>

Ingeoexpert. (29 de Marzo de 2019). *Ingeoexpert*. Obtenido de Ingeoexpert:
<https://ingeoexpert.com/2019/03/29/que-es-la-energia-solar-fotovoltaica-y-como-se-genera/>

Integra. (21 de Abril de 2014). *Integra - Innovación Agroindustrial Sostenible*.
Obtenido de Integra - Innovación Agroindustrial Sostenible:
<https://integraias.com/que-es-el-biogas/>

Isafres. (16 de Marzo de 2015). *Enerables*. Obtenido de Enerables:
<https://enerables.wordpress.com/2015/03/16/energia-biocarburante/>

Lara, M. (25 de Septiembre de 2018). *Ecología Verde*. Obtenido de Ecología Verde:
<https://www.ecologiaverde.com/que-son-los-biocombustibles-ventajas-y-desventajas-1364.html>

Llorente, F. (10 de Marzo de 2018). *Meteored*. Obtenido de Meteored Tiempo.com:
<https://www.tiempo.com/noticias/divulgacion/brisas-los-vientos-que-te-refrescan.html>

López, C. (5 de Mayo de 2009). *OpenMind BBVA*. Obtenido de OpenMind BBVA:
<https://www.bbvaopenmind.com/articulos/retos-actuales-de-la-energia/>

López, P. M. (28 de Febrero de 2020). *Ecoinventos*. Obtenido de Ecoinventos:
<https://ecoinventos.com/primer-turbina-eolica-de-la-historia/>

Lorenzo, J. A. (26 de Septiembre de 2015). *Sunfields Europe*. Obtenido de Sunfields Europe:
<https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/radiacion-solar/>

Maldonado, J. A. (4 de Junio de 2020). *Meteored tiempo.com*. Obtenido de Meteored tiempo.com:
<https://www.tiempo.com/noticias/ciencia/la-radiacion-solar-ultravioleta-tierra.html>

Mechanics, P. (6 de Noviembre de 2019). *World Energy Trade*. Obtenido de World Energy Trade:
<https://www.worldenergytrade.com/energias->

alternativas/energia-eolica/como-funcionan-los-aerogeneradores

Mendes, L. (7 de Abril de 2020). *Nuestro clima*. Obtenido de Nuestro clima:
<https://nuestroclima.com/tipos-de-energias-renovables/>

Minitab. (10 de Enero de 2020). *Soporte Minitab 8*. Obtenido de Soporte Minitab
8: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/probability-distributions-and-random-data/supporting-topics/distributions/weibull-distribution/>

Morais, F. H. (10 de Diciembre de 2017). *ResearchGate*. Obtenido de
ResearchGate: https://www.researchgate.net/figure/Figura-23-Esquema-simplificado-de-um-SFCR_fig10_321862717

Moron, E. (14 de Noviembre de 2019). *Steemit*. Obtenido de Steemit:
<https://steemit.com/steemstem/@emiliomoron/transesterificaci-n--1554992889>

MS, O. (17 de Julio de 2015). *Open MS Tecnologías Necesarias*. Obtenido de
Open MS Tecnologías Necesarias: <http://www.openms.es/planta-bpp4fuel-produce-biocombustible-liquido-partir-de-rsu-y-biomasa-residual>

Noya, C. (18 de Agosto de 2020). *Diario Renovables*. Obtenido de Diario
Renovables: <https://www.diariorenovables.com/2018/08/la-industria-se-prepara-para-produccion-paneles-solares-bifaciales.html>

Núñez, A. (17 de Marzo de 2015). *Ingenieros.es*. Obtenido de Ingenieros.es:
<https://www.ingenieros.es/noticias/ver/el-biogas-procedente-del-vertedero-de-gongora-generaria-una-energia-equivalente-al-consumo-anual-de-mas-de-6000-familias/5311>

Pinterest, D. T. (29 de Septiembre de 2014). *Sustentable y sostenible*. Obtenido
de [Sustentable y sostenible:](https://blog.deltoroantunez.com/2014/09/biomasa-si-pero.html)
<https://blog.deltoroantunez.com/2014/09/biomasa-si-pero.html>

project, S. w. (9 de Abril de 2017). *Sun water project*. Obtenido de Sun water
project: <https://sunwaterproject.es/wp/?services=12>

pueblos, C. (8 de Julio de 2019). *Cumbre pueblos*. Obtenido de Cumbre pueblos:

- <https://cumbrepuebloscop20.org/energias/solar/modulo-fotovoltaico/>
- Repsol. (12 de Enero de 2019). *Repsol global*. Obtenido de Repsol global:
<https://www.repsol.com/es/productos-y-servicios/quimica/productos/eva/index.cshtml>
- Roca, J. A. (11 de Enero de 2016). *El periódico de la energía*. Obtenido de El periódico de la energía: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-de-biomasa-del-mundo/>
- Rodríguez, J. (2019). *Biomasa forestal: Instalaciones y usuarios finales*. España: Mayo-2019.
- Romero-Hernández, S. (10 de Abril de 2011). *ResearchGate*. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1011-Planta-de-estanque-solar_fig11_324173455
- Sai. (5 de Julio de 2018). *Dreamstime*. Obtenido de Dreamstime:
<https://es.dreamstime.com/almid%C3%B3n-soluble-en-agua-sobre-fondo-blanco-image193269494>
- Sanchez, P. (16 de Abril de 2021). *La Republica*. Obtenido de La Republica:
<https://www.larepublica.ec/blog/2021/04/16/seguros-confianza-pone-en-marcha-plan-de-energia-limpia-para-mitigar-el-cambio-climatico/>
- Sde. (5 de Octubre de 2018). *Sde.mx*. Obtenido de Sde.mx:
<http://www.sde.mx/diodos-de-bypass/>
- Sheepy. (6 de Julio de 2018). *Amino*. Obtenido de Esparcimiento :
https://aminoapps.com/c/ciencia_amino/page/blog/esparcimiento/YGwZ_0Gtbu65ZpD0DawV8Pk5mMbbLYWZ6p
- Sopelia. (11 de Octubre de 2020). *Sopelia*. Obtenido de Sopelia:
<https://www.energiasolar.lat/dimensionado-de-un-sistema-fv-conectado-a-red/>
- sun, T. (15 de Mayo de 2017). *Techno sun*. Obtenido de Techno sun:
<http://blog.technosun.com/las-ventajas-de-la-energia-solar-en-edificios-publicos-y-de-la-administracion/>
- tic, C. (14 de Febrero de 2017). *Canal tic*. Obtenido de Canal tic:

https://canaltic.com/blog/html/exe/energias/energia_solar_trmica.html

Trippi, R. D. (12 de Septiembre de 2014). *Aula Facil*. Obtenido de Aula Facil:
<https://www.aulafacil.com/cursos/medio-ambiente/energia-solar-termica-1/irradiacion-solar-directa-e-indirecta-l37815>

PARA CITAR EL LIBRO.

Hidalgo Osorio, W. A., Vásquez Carrera, P. J., Carrillo Velarde, G. G., & Vásquez Carrera, F. G. (2021). Energías Renovables. Ambato: Editorial Ciencia Digital.

Recuperado

desde:

<http://libros.cienciadigital.org/index.php/CienciaDigitalEditorial/catalog/book/7>



Las opiniones expresadas por los autores no reflejan la postura del editor de la obra. El libro es de creación original de los autores, por lo que esta editorial se deslinda de cualquier situación legal derivada por plagios, copias parciales o totales de otras obras ya publicados y la responsabilidad legal recaerá directamente en los autores del libro.

El libro queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la Editorial Ciencia Digital.

CORREOS Y CÓDIGOS ORCID

Autores

☞ Ing. William Armando Hidalgo Osorio. M.Sc.

 <https://orcid.org/0000-0001-6783-0947>

 william.hidalgo7885@utc.edu.ec, abuewily@hotmail.com

☞ Ing. Paco Jovanni Vásquez Carrera M.Sc.

 <https://orcid.org/0000-0002-2434-0806>

 paco.vasquez@utc.edu.ec, pacovasc@hotmail.com,

☞ Ing. Guido Gabriel Carrillo Velarde M.Sc.

 <https://orcid.org/0000-0003-0409-2320>

 guido.carrillo2303@utc.edu.ec, gabcavel_27@hotmail.com

☞ Ing. Franklin Germánico Vásquez Carrera M.Sc

 <https://orcid.org/0000-0003-0468-0907>

 fvasquezc@repsol.com, franklinvasquez73@hotmail.com

ISBN: 978-9942-8914-4-0





**"INNOVANDO EN EL
ÁREA ACADÉMICA"**

ISBN: 978-9942-8914-4-0



9 789942 891440



[DOI.ORG/10.33262/CDE.6](https://doi.org/10.33262/CDE.6)

www.cienciadigitaleditorial.com