

INTRODUCCION AL ESTUDIO DE FUENTES RENOVABLES DE ENERGIA



AUTORES

Alfredo Barriga Rivera
Emérita Delgado Plaza
Jéssica Guevara Sáenz de Viteri
Juan Peralta Jaramillo
Margarita Naranjo Valencia
Karina Villalta Delgado

Introducción al Estudio de Fuentes Renovables de Energía

1a ed. - Iniciativa Latinoamericana de Libros de Texto Abiertos (LATIn), 2014. 212 pag.

ISBN: 978-9942-33-868-6

Versión digital 2024

Iniciativa Latinoamericana de Libros de Texto Abiertos (LATIn)

<http://www.proyectolatin.org/>



Los textos de este libro se distribuyen bajo una licencia Reconocimiento-CompartirIgual 3.0 Unported (CC BY-SA 3.0) http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.es_ES

Esta licencia permite:

Compartir: copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato.

Adaptar: remezclar, transformar y crear a partir del material para cualquier finalidad.

Siempre que se cumplan las siguientes condiciones:



Reconocimiento. Debe reconocer adecuadamente la autoría, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de una manera que sugiera que tiene el apoyo del licenciador o lo recibe por el uso que hace.



CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, deberá difundir sus contribuciones bajo **la misma licencia que el original**.

Las figuras e ilustraciones que aparecen en el libro son de autoría de los respectivos autores. De aquellas figuras o ilustraciones que no son realizadas por los autores, se coloca la referencia respectiva.



Este texto forma parte de la Iniciativa Latinoamericana de Libros de Texto abiertos (LATIn), proyecto financiado por la Unión Europea en el marco de su Programa ALFA III EuropeAid.

El Proyecto LATIn está conformado por: Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador (ESPOL); Universidad Autónoma de Aguascalientes, México (UAA), Universidad Católica de San Pablo, Perú (UCSP); Universidade Presbiteriana Mackenzie, Brasil (UPM); Universidad de la República, Uruguay (UdelaR); Universidad Nacional de Rosario, Argentina (UR); Universidad Central de Venezuela, Venezuela (UCV), Universidad Austral de Chile, Chile (UACH), Universidad del Cauca, Colombia (UNICAUCA), Katholieke Universiteit Leuven, Bélgica (KUL), Universidad de Alcalá, España (UAH), Université Paul Sabatier, Francia (UPS).

Índice general

Agradecimientos	9
Acerca de los autores	11
PRÓLOGO	15
INTRODUCCIÓN	17
OBJETIVO DEL TEXTO	19
1 DEFINICIONES BÁSICAS	21
Objetivo del Capítulo I	21
1.1 Trabajo y Energía	21
1.2 Formas de Energía	22
1.3 Potencia y Eficiencia	24
1.3.1 Potencia	24
1.3.2 Eficiencia	25
1.4 Conversión de Energía	25
1.5 Ciclos Naturales relacionados a las fuentes renovables de Energía	27
1.5.1 Ciclo de la biomasa	27
1.5.2 Ciclo hidráulico	29
1.6 Sistemas de Conversión de Energía- ECS	32
1.7 Satisfacción de necesidades que requieren energía	33
1.8 El cambio climático, efecto invernadero y lluvia ácida	35
1.9 Vulnerabilidad	37
1.10 Sistema de unidades y conversiones	38
2 ENERGÍA SOLAR	41
Objetivo del Capítulo II	41
2.1 Radiación Solar	41
2.1.1 <i>El sol</i>	41

2.1.2	<i>La constante solar (So)</i>	42
2.2	Definiciones Básicas	45
2.2.1	Tipos de radiación solar	45
2.2.2	Geometría de la radiación solar terrestre	45
2.2.3	Geometría de la radiación solar sobre una superficie inclinada	47
2.3	Caracterización del Recurso Solar	50
2.3.1	Potencial energético	50
2.3.2	Tecnología para el aprovechamiento de la energía	52
2.3.3	Medidores de radiación solar	53
2.4	Aplicaciones de la Energía Solar Térmica	55
2.4.1	Colector Solar I	56
2.4.2	Colector solar II	64
2.4.3	Destilador solar	69
2.4.4	Cocina Solar	70
2.4.5	Secador Solar	72
2.4.6	Concentrador Solar	74
2.5	Energía Solar Fotovoltaica	78
2.5.1	Funcionamiento de la célula solar	78
2.5.2	Tecnología de Fabricación de las células solares de silicio cristalino	78
2.5.3	Tipos de paneles fotovoltaicos	79
3	DISEÑO BÁSICO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO	83
	Objetivo del Capítulo III	84
3.1	Componentes y accesorios	84
3.1.1	BATERIAS	84
3.1.2	REGULADOR DE CARGA	89
3.1.3	INVERSOR	89
3.2	Instalaciones aisladas y sistemas conectados a la red	91
3.2.1	Instalaciones Fotovoltaica aisladas	92
3.2.2	Instalaciones Fotovoltaica Conectada a la Red	92
3.3	Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico	95
3.3.1	Sistema Fotovoltaico Aislado	95
3.3.2	Instalación de Sistema conectado a red	98
3.4	Problemas asociados a las instalaciones y almacenamiento de Energía	102
4	ENERGÍA EÓLICA	107
	Objetivo del Capítulo IV	108
4.1	Formación y Circulación del Viento	108
4.1.1	Efectos Locales	110
4.2	Caracterización del Recurso Eólico	112
4.2.1	Perfiles de Velocidad de Viento	117

4.3	Tratamiento de la información meteorológica	120
4.4	Principios de conversión de la energía eólica	128
4.4.1	Potencia eólica Disponible	128
4.4.2	Potencia eólica aprovechable	128
4.4.3	Perfiles aerodinámicos: Teoría del ala	129
4.4.4	Eficiencia o Rendimiento de un Aerogenerador	131
4.4.5	Curva de potencia del aerogenerador	131
4.5	Tipos de aerogeneradores	132
4.5.1	Utilización	132
4.5.2	Tecnología	133
4.6	Elementos de un aerogenerador	136
4.7	Instalaciones	138
4.7.1	Sistemas Autónomos	138
4.7.2	Sistemas Conectados a Red	139
5	ENERGÍA HÍDRICA	141
	Objetivo del Capítulo V	141
5.1	CUENCAS HÍDRICAS APROVECHABLES y ECOLÓGICAMENTE VIABLES	141
5.1.1	Flujo Ecológico	145
5.1.2	MÉTODO HIDROLÓGICO	145
5.1.3	MÉTODO HIDRÁULICO	145
5.1.4	MÉTODO GEOMORFOLÓGICO	146
5.1.5	MÉTODO HOLÍSTICO	146
5.2	FUERZA MOTRIZ POR CAÍDA DE AGUA	147
5.3	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS PLANTAS	147
5.4	EFICIENCIA DE CONVERSIÓN DE TURBINA	155
6	ENERGÍA DE LA BIOMASA	157
	Objetivo del Capítulo VI	157
6.1	Generalidades de Biomasa	157
6.1.1	Introducción	157
6.1.2	Fundamentos de Energía de Biomasa	158
6.1.3	Fuentes de biomasa	160
6.1.4	Tipos de Biomasa	163
6.2	Determinación de Producción de Biomasa	163
6.3	Procesos de Conversión de Biomasa	166
6.4	Proceso de Conversión Termoquímica	167
6.5	Procesos de Conversión Directa	169
6.6	Proceso de Conversión Física	170
6.7	Proceso de Conversión Bioquímica	170

6.8	Combustión y Pirólisis	171
6.9	Gasificación	172
6.10	Biocarburos: Bioetanol	173
6.11	Biocarburos: Biodiesel	174
6.12	Implicaciones ambientales por uso de biomasa	176
7	OTRAS FUENTES DE ENERGÍAS	177
	Objetivo del Capítulo VII	177
7.1	Energía del mar	177
7.1.1	Energía Mareomotriz	177
7.1.2	Energía Mareotérmica	180
7.1.3	Energía Undimotriz	182
7.2	Geotermia	185
7.3	Tecnología de Hidrógeno	191
7.4	Cogeneración	193
8	ANÁLISIS DE PERSPECTIVAS DE DESARROLLO DE FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA EN ECUADOR	195
	Objetivo del Capítulo VIII	195
8.1	ESTUDIO DE LA MATRIZ ENERGÉTICA DEL ECUADOR	196

Agradecimientos

El presente texto incorpora en algunos capítulos una actualización de la documentación académica elaborada por el autor senior, durante cursos y programas de formación académica y profesional que ha dictado desde fines de la década 90 en adelante y; en otros presenta información elaborada por parte de los coautores recientemente. Cuyo resultado es amalgama de trabajo que combina experiencia con actualización técnica.

Los Autores desean expresar su reconocimiento a todas aquellas personas, amigos, bienquerientes y demás, quienes de alguna manera han apoyado o contribuido en la formulación y elaboración del presente libro. En su contenido se reflejan experiencias de los autores así como ideas, y puntos de vista de otras personas y autores, lo cual se agradece y se deja expresa constancia.

Por otro lado se agradece a la Escuela Superior Politécnica del Litoral, entidad a la que se encuentran vinculados los autores, por el apoyo que se ha brindado a los mismos a través de los años y en particular al CTI - Centro de Tecnologías de Información por participar en proyectos como es el caso de LATIn Project. Se deja especial constancia del agradecimiento a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, de la que se ha recibido apoyo y respaldo moral. La iniciativa formo parte del trabajo que se desarrolla dentro del CDTS -Centro Desarrollo Tecnológico Sustentable en conjunto de otras entidades académicas y de investigación.

El autor senior deja expresa constancia de su agradecimiento a: la Organización Latinoamericana y del Caribe de Energía por el apoyo brindado en el dictado de múltiples cursos, seminarios y talleres sobre Fuentes Renovables de Energía y sobre varios aspectos de Biogás y Biomasa. Y al Grupo de Aplicaciones Energéticas Sostenibles de la Universidad Santiago de Compostela, entidad a la que se encuentran actualmente vinculados dos de los coautores. Se reconoce además la participación de estudiantes que a lo largo de década y media han interactuado académicamente con versiones preliminares de este material, a nivel de pregrado y postgrados en varias entidades Universitarias el Ecuador.

Finalmente, este colectivo de autores se inclina reverente ante las bendiciones del Creador, puestas de manifiesto a través de la múltiples oportunidades dadas para trabajar de manera teórica y práctica en los temas del presente libro, permitiéndonos ahora recopilar este material básico dentro de la presente obra, el cual se espera permita, a los profesionales y estudiantes interesados, compenetrarse y profundizarse en el campo de las Fuentes Renovables de Energía, tanto para aprovechar mejor los recursos que se presentan, como para apoyar el desarrollo de proyectos relacionados al tema.

Acerca de los autores

Alfredo Barriga Rivera

Email: abarriga@espol.edu.ec

PhD en Ciencias de Ingeniería (WSU, USA, 1979). Profesor Principal en ESPOL desde 1983. Primer Director del Centro de Investigación Científica de ESPOL (1983-87). Vicerrector de ESPOL (1990-93). Coordinador Regional de Red Regional de FAO de Cooperación Técnica en Dendroenergía (Energía de Madera y Derivados) (1991-95). Asesor de Grupo Latinoamericano de Energización Rural Sostenible, GLAERS (1995-98). Director de la Comisión de Evaluación Científica de Proyectos de Investigación del Consejo Nacional de Universidades de Ecuador, CONUEP (1996- 2000). Profesor en Programas de Masters Degree en Energía en ESPE, ESPOCH, Universidad San Francisco, Universidad de Guayaquil (2000- presente). Subsecretario (Vice-Ministro) de Calidad Ambiental, Ministerio de Ambiente del Ecuador (2000- 2002). Director, Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable de FIMCP- ESPOL (2003- presente). Director de Postgrado de Especialista en Producción Más Limpia, ESPOL e Instituto Ecuatoriano de Producción más Limpia (2003- 2007). Co- Director, Programa de Eco- Salud para Zonas Periféricas en Ciudad de Guayaquil, 2007- 2008. Director Técnico, Estudio del Impacto Ambiental del Uso de Etanol en Gasolinas en Ecuador, 2008- 2009. Proponente de investigación y desarrollo en uso de biocombustibles, ESPOL- SENACYT (2009-2011). Premio al Mérito Institucional, ESPOL (2010). Énfasis en años recientes ha sido en supervisar Tesis de Grado y Postgrado (Master's Degree); proponer y dirigir estudios y proyectos en áreas varias de impacto ambiental, uso de fuentes alternativas de energía, dictado de cursos especiales, consultas a problemas técnicos, evaluación de proyectos técnicos, coordinación de mesas y foros de discusión. Por orientación personal se ha ido convirtiendo en asesor ad-hoc de entidades públicas en áreas de energía y ambiente, así como “persona de consulta” para sectores comunitarios, productivos e institucionales nacionales.

Emérita Delgado Plaza

Email: eadelgad@espol.edu.ec

Es Ingeniera mecánica por la Escuela Superior Politécnica del Litoral, en el año 2011 obtuvo la titulación de Master en Energías Renovables y Sostenibilidad Energética en la Universidad de Santiago de Compostela, la misma que continúa su doctorado. Además de haber impartido docencia en el Instituto de Ciencias Químicas (ESPOL), ha participado en investigaciones en el ámbito de las energías renovables para comunidades sostenibles, secado, combustión y manipulación de residuos. Desde el año 2006 ha trabajado en consultorías energéticas y ambientales.

Jéssica Guevara Sáenz de Viteri

Email: jgueva@espol.edu.ec

Graduada en Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción en la ESPOL con mención en Manejo de Efluentes Industriales y con una Maestría en Ingeniería Ambiental en la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil. Actualmente se desempeña como consultora ambiental calificada por el Ministerio de Ambiente del Ecuador desde el año 2001, así como en la Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil. Cuenta con cursos de Producción Más Limpia y trabajos en la línea de Evaluación e Impacto Ambiental desarrollado en empresas de la localidad. Docente con 14 años de experiencia en el área ambiental: Evaluación de Riesgo, Planeación y Gestión Ambiental, Determinación de aspectos e impactos ambientales, Ecología y Educación Ambiental. Participación en: proyectos de investigación relacionados a Evaluación de Impactos Ambientales a nivel industrial, Dirección Técnica en la carrera Desarrollo Comunitario Ambiental a nivel universitario.

Juan Peralta Jaramillo

Email: jperal@espol.edu.ec

Graduado en Ingeniería Mecánica con estudios de cuarto nivel en el campo de Energías Renovables y Sostenibilidad Energética. Ha participado en congresos y cursos a nivel nacional e internacional en áreas como mecánica, energía y medio ambiente en calidad de asistente o ponente. Cuenta con un curso de formación de formadores de EERR, además de 7 años de experiencia profesional e investigación en el campo energético y ambiental. Investigador (Ingeniero en formulación y desarrollo de proyectos) en el Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS - FIMCP -ESPOL (actualmente). Experiencia en el dictado de cursos sobre Química General I, Legislación Ambiental, Laboratorio de Física General I y II. Conocimientos en Energía Solar, Eólica, biomasa, geotermia y biocombustibles; Dimensionamientos en sistemas Híbridos de Energía; Sistema de Gestión y Evaluación de Impacto Ambiental; Dispersión de Contaminantes Atmosféricos (Aplicación Screen, ISC, Aermol); Aplicación de Auditoría Energética a nivel Industrial

Margarita Naranjo Valencia

Email: mnpatriarka6@gmail.com

Graduada de la Universidad de Guayaquil en la Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Especialidad de Comercio Exterior, un diplomado en Diseño Curricular por Competencias. Actualmente actualmente se encuentra finalizando su tesis en empleo del Aprendizaje Basado en Problemas a nivel superior en la especialidad de Desarrollo Comunitario Ambiental en la Universidad de Guayaquil . Con 10 años de experiencia en docencia a nivel medio y superior, planificación curricular macro, meso y micro; asesoramiento en la elaboración de proyectos educativo, programas, proyectos de investigación en Manejo de Desechos Hospitalarios.

Desarrollo de servicios y programas de capacitación dirigidos a comunidades, empresas e industrias: sobre Gestión Ambiental, procesos de participación comunitaria y aprovechamiento de desechos sólidos domésticos, medidas de seguridad y preservación del medio ambiente. Participación en varios proyectos de investigación vinculados a la comunidad sobre manejo de desechos.

PRÓLOGO

El presente texto está orientado a describir de manera introductoria las Fuentes Renovables de Energía. Se pretende describir los conceptos básicos de los componentes de los sistemas, aplicaciones y tecnologías existentes.

El contenido del presente texto y su respectivo material de apoyo están desarrollados con el fin de lograr en el lector una orientación y formación básica en el campo energético a nivel técnico-científico.

En los capítulos se cubrirán conceptos relacionados a energía : Solar, Biomasa, Eólica e Hídrica y sus diferentes aplicaciones. Se incluye por otro lado los Procesos combinados de calor y trabajo así como la recuperación de calor residual. Adicionalmente se presentan conceptos básicos y aplicaciones de otras formas de energía como: Mareomotriz Undimotriz, Maremotérmica, Geotermia. Finalmente se realiza una breve introducción a Pilas de Combustible y Tecnología de Hidrógeno.

Se pretende lograr que el lector obtenga una perspectiva global de las Fuentes de Energía Renovables y su desarrollo tecnológico. Esto incluye aspectos tales como: POTENCIAL, SOSTENIBILIDAD, IMPACTO, DESAFÍOS, ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN, entre otros

INTRODUCCIÓN

Las diferentes crisis energéticas contemporáneas, poco a poco han generado un cambio en la perspectiva mundial sobre el consumo, costos y grado de agotabilidad de los recursos energéticos (principales fósiles).

En la última publicación del World Energy en noviembre del 2013 la Agencia Internacional de la Energía (AIE) presento las proyecciones del panorama mundial para los próximos 20 años donde plantea un escenario energético que se basara en una explotación intensiva y profunda de los recursos no convencionales derivado al aumento de la demanda energética en todo el globo, con consecuencias e impactos muy preocupantes a nivel económico, social y además medioambientales generados por el cambio climático y el aumento de gases de efecto invernadero.

En dicha publicación se indica que las fuentes renovables de energía obtuvieron USD 100.000 millones en subsidios durante 2012 a nivel global y se estima que en 20 años a se logren subsidios por un valor de USD 220.000 millones. Estos montos son mínimos en comparación a la inversión en fuentes conveccionales de energía que se proyectan a futuro , manteniendo al petróleo como la fuente energética principal dentro de la matriz energética mundial.

La conciencia mundial sobre el uso de recursos, dispersión geográfica, costos de explotación o producción y preocupación sobre los impactos ambientales en los últimos años a permitido a las Fuentes Renovables Energia recibir un apoyo importante para su desarrollo, si bien proporcionalmente su porcentaje de confianza y aplicación se considera limitado al momento.

Se considera Fuentes Renovables de Energía aquellas formas energéticas que se regeneran de manera natural, o aquella cuya tasa de utilización o explotación no afecta la existencia de la fuente energética.

Las Fuentes de energía se originan en la energía solar ó en formas que proviene de la tierra (geo- energía). La energía solar permite conversión fototérmica y conversión fotovoltaica. La biomasa es generada por la conversión fotosintética de la energía solar a energía química que se almacenada tejidos de plantas (fotosíntesis). La energía eólica se produce por la energía cinética del viento, que se origina por el movimiento de las masa de aire , que se induce por el calentamiento de la atmosfera por la radiación solar incidente que llega a la Tierra. Similarmente, la evaporación de agua superficial (por calentamiento solar) y su ascenso, acoplado con el subsecuente desplazamiento y precipitación en zonas altas genera el potencial de energía hídrica.

Teniendo en cuenta los diferentes antecedentes y el nivel de experiencia de los distintos lectores, no se colocará el énfasis de este texto en aplicar un conjunto de conceptos de ingeniería a los proyectos de energía renovable en la vida real, sino de explicar su utilidad. Así, mientras que un entendimiento básico y un conocimiento práctico de, por ejemplo, el funcionamiento de los sistemas eléctricos; ilustrando casos de de fuentes de energia renovable en base a los tipos de sistemas comerciales disponibles, y cuáles son sus costos de mantenimiento, qué piezas de repuesto especiales o habilidades de reparación que necesitan, cuál es su rendimiento diario útil, lo que sucede en el caso de inesperado o involuntario exceso de demanda , y similares.

OBJETIVO DEL TEXTO

Conceptualizar, y emplear los diferentes sistemas de aprovechamiento de las fuentes renovables y de la infraestructura energética, así como evaluar el potencial energético de diversas fuentes, mediante el trabajo multidisciplinario, en un marco de responsabilidad ecológica, ética y social.

El cumplimiento de este objetivo dependerá de tener conocimiento en :

- **Ciencias Básicas.** Analizar los conceptos y principios de Matemáticas, Física y Química que les permitan definir, plantear y atender problemas fundamentales de la ciencia, así como internalizar un lenguaje que les permita desarrollar e integrar diversos tipos de sistemas. Interpretar el conocimiento fundamental de los fenómenos físicos y químicos, incluyendo sus expresiones cuantitativas y desarrollar la capacidad de uso del método científico.
- **Herramientas Computacionales .** Aplicar herramientas básicas para evaluar problemas específicos en Energías Renovables, utilizando las tecnologías de información y comunicación así como diversas herramientas y materiales tecnológicos en el área.
- **Energía solar.** Adquirir los conocimientos fundamentales y las habilidades que le permitan estimar y evaluar recurso solar , además de seleccionar aplicaciones tecnológicas en función del potencial existente.
- **Energía eólica.** Adquirir los conocimientos fundamentales y las habilidades que lo califiquen para estimar y evaluar recurso eólico, además de seleccionar aplicaciones tecnológicas en función del potencial existente.
- **Biomasa** Adquirir los conocimientos básicos y habilidades para entender las diferentes formas de biomasa y diferentes tecnologías de aprovechamiento.
- **Gestión y eficiencia energética.** Adquirir los conocimientos básicos en el campo de la energía y áreas afines con la finalidad de integrarlos, metodológica y eficazmente en la planeación y diseño de proyectos para el uso eficiente y la gestión de energía.
- **Vectores y Acumuladores de Energía.** Adquirir los conocimientos básicos y habilidades para entender los principios de los sistemas de acumulación y transporte de la energía.
- **Ciencias Sociales y Humanidades.** Permitir una comprensión integral del impacto social, humano y económico del desarrollo científico y tecnológico para la región y el país. Aplicar los principios de administración de los recursos y los conceptos sobre ética, calidad y sustentabilidad.

1 — DEFINICIONES BÁSICAS

Objetivo del Capítulo I

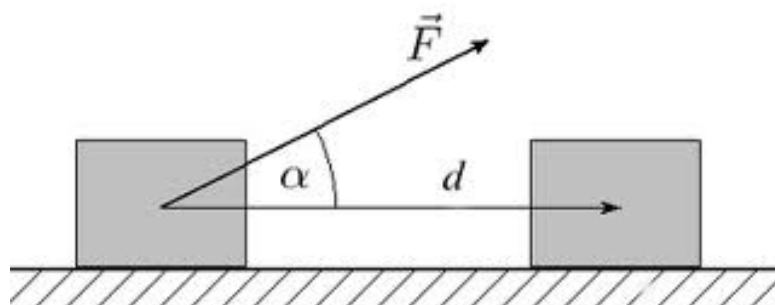
- Describir y Explicar los conceptos básicos relacionados a las fuentes renovables de energía (FRE) desde una perspectiva energética, socioeconómica y ambiental; permitiendo al lector desarrollar las capacidades o destrezas necesarias para comprender y relacionar los aspectos teóricos y prácticos del desarrollo y aplicación de las FRE, afín de diferenciar las diferentes fuentes de energía renovables.

1.1 Trabajo y Energía

Estos conceptos se desarrollan dentro de la continua búsqueda de las necesidades básicas humanas incluyendo el uso de varios tipos de tecnologías y su respectivo acople.

Se define TRABAJO al producto escalar entre el vector fuerza y el vector desplazamiento o el producto de la fuerza por la distancia y por el coseno del ángulo que existe entre la dirección de la fuerza y la dirección que recorre el punto o el objeto que se mueve. También se puede expresar con el producto de un par de rotación (momento de fuerza) por un cierto ángulo (desplazamiento angular). El trabajo es una magnitud escalar y en el sistema Internacional su unidad es Joule [J].

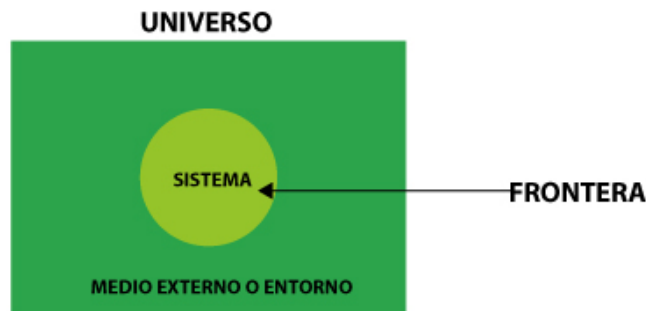
Figura 1.1: Gráfico del Trabajo en un objeto desplazándose por una fuerza (F)



Fuente: es.wikipedia.org

Un SISTEMA se define como un conjunto de partes o elementos que poseen organización y que se relacionan entre sí para lograr un objetivo. Los sistemas reciben entradas a través de datos, energía o materia del ambiente y suministran información, energía o materia como salida. Todo sistema tiene límites (frontera)

Figura 1.2: Gráfico de un sistema.

Fuente: www.tideca.net

Otro concepto base es el de ENERGÍA, el cual tiene que ver con la capacidad de un cuerpo o sistema (este concepto será abordado en detalle dentro de este capítulo) para producir transformaciones, con independencia de que éstas se produzcan o no. Se considera al trabajo como un mecanismo de transferencia de energía en un sistema.

Es importante que se asegure de hacer un seguimiento para la comprensión de las unidades planteadas al final del capítulo y su posterior empleo como: Newton, Joule, Watt.

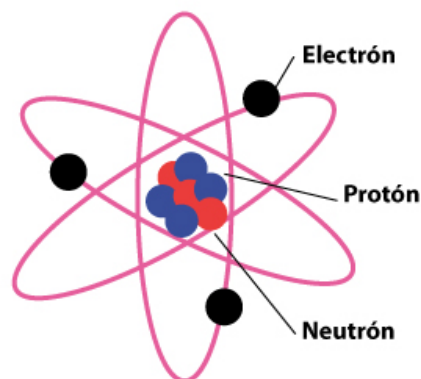
1.2 Formas de Energía

Manifestaciones de la Energía

La energía puede tomar varias formas y en éstas se incluyen: energía mecánica, química, térmica, electromagnética, nuclear. Se puede decir que en general, las formas de energía se encuentran relacionadas entre sí porque se convierten de una forma a otra.

Por ejemplo si un sistema pierde energía en alguna forma entonces el sistema ganará una cantidad igual de energía en otra forma. A continuación se describen cada forma de energía.

Figura 1.3: Gráfico de un átomo

Fuente: mavensol.blogspot.com

La energía cinética; Implícita en una masa en movimiento, depende de la velocidad de acuerdo a la expresión matemática:

$$E = \frac{1}{2}mV^2$$

Donde m es la masa del objeto y V es la velocidad del mismo elevada al cuadrado.

Para el caso de la *energía térmica*, es considerada un caso particular de la energía cinética, donde la energía se desprende en forma de calor. El calor se define como la energía en transición debido a las diferencias de temperatura.

La temperatura es una propiedad que mide la actividad interna de las partículas atómicas y subatómicas de una masa determinada. Cuanto más rápido se mueven las masas, más energía cinética posee. Otro ejemplo de aprovechamiento de la energía cinética, es el viento.

La **energía electrostática**; es la energía que se manifiesta por la atracción o repulsión de dos cargas eléctricas entre sí.

La *energía química* es un caso particular de la energía electrostática, siendo la energía que mantiene unidos entre sí a los átomos que conforman una molécula, o a varias moléculas entre sí formando cuerpos a su estructura interna. La combustión de la biomasa es un ejemplo de energía térmica y química.

La **energía nuclear**; es la energía almacenada en los núcleos de los átomos, en el momento de su formación, y la que mantiene unidos a los protones y los neutrones.

La **energía electromagnética**; está asociada a una carga eléctrica en movimiento o un conjunto de éstas formando una corriente eléctrica. Es la cantidad de energía almacenada en una parte del espacio a la que podemos otorgar la presencia de un campo electromagnético.

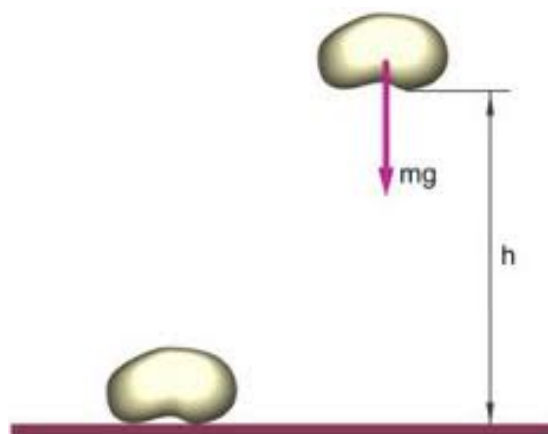
La **energía luminosa o lumínica**: Cuando se liberan electrones de un material por la acción de la radiación se denomina efecto fotoeléctrico o emisión fotoeléctrica.

Sus características esenciales son:

- Para cada sustancia hay una frecuencia mínima o umbral de la radiación electromagnética por debajo de la cual no se producen fotoelectrones por más intensa que sea la radiación.
- La emisión electrónica aumenta cuando se incrementa la intensidad de la radiación que incide sobre la superficie del metal, ya que hay más energía disponible para liberar electrones.

La **energía potencial gravitacional**; Es la energía que tiene una masa por su posición en el espacio y que cae en un campo gravitacional, este ejerce una fuerza en la dirección del movimiento efectuando un trabajo que le permite ganar energía cinética; sin embargo por su posición en el espacio, esta masa tiene energía potencial.

Figura 1.4: Energía potencial



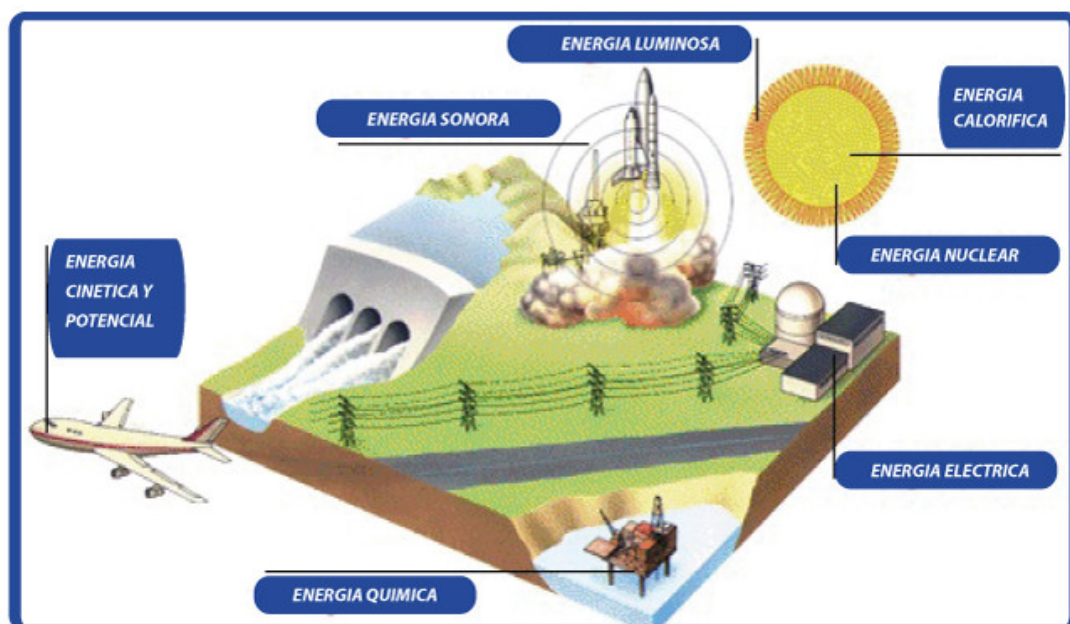
Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

Adicionalmente la Energía Mecánica total de un sistema se define como la suma de energía cinética y la energía potencial. La suma de ambas siempre se mantiene constante salvo en sistemas en los que actúen fuerzas no conservativas. La energía de las olas es un ejemplo. Se debe tener en consideración en cierto modo, la electricidad puede ser considerada como un

portador de energía de conversión directa. Vapor de agua, por otro lado, puede ser considerado un portador de energía indirecta, se puede explicar la diferencia intrínseca entre la electricidad y el vapor en este contexto. Finalmente la presión no es en sí mismo una forma de energía almacenada, pero se puede fácilmente generar trabajo en un sistema termodinámico de flujo (abierto); de hecho, la entalpía es la suma de la energía y la presión (dividida por la densidad) interna.

Finalmente la energía debe ser reconocida como un importante parámetro para la productividad y actividades de la comunidad. Básicamente los procesos de transformación no pueden operar sin energía y es ahí donde este parámetro juega un rol importante para analizar. Véase gráfico a continuación, en el cual se dan ejemplos cotidianos del uso de los diversos tipos de energía

Figura 1.5: Tipos de Energía



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

1.3 Potencia y Eficiencia

1.3.1 Potencia

Se define la potencia como el trabajo realizado en la unidad de tiempo, matemáticamente sería el cociente entre el trabajo realizado y el intervalo de tiempo transcurrido. Sus unidades en el sistema internacional es Watio.

En algunos casos se conoce potencia instantánea como relación con el tiempo de transferencia de energía .

Se debe tener claro que energía es la capacidad que tiene la materia para realizar conversiones o transformaciones, en el mismo cuerpo, bien entre varios. Estas conversiones pueden ocurrir a nivel atómico, molecular o nivel de estados de agregación del cuerpo; y tanto la materia (masa), como la energía, desde el punto de vista ideal deberían conservar en todos los procesos de conversión o transformación, respetando la leyes de conservación que dicen:

En toda transformación de la materia de tipo químico (reacción química) o físico (cambios de estado), la masa total se conserva (en una reacción química, la masa total de los reactivos es

igual a la masa total de los productos).

La energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma (primer principio de la termodinámica).

Pero en la práctica no existe ningún proceso de conversión energética que sea reversible, o lo que es igual, en todo proceso de conversión energética, una parte de la energía no es recuperable. Este axioma constituye el Segundo Principio de la Termodinámica, estableciendo la idea de eficiencia de conversión.

1.3.2 Eficiencia

Se puede definir como la relación entre un producto que entrega el sistema y lo que consume el sistema para lograrlo.

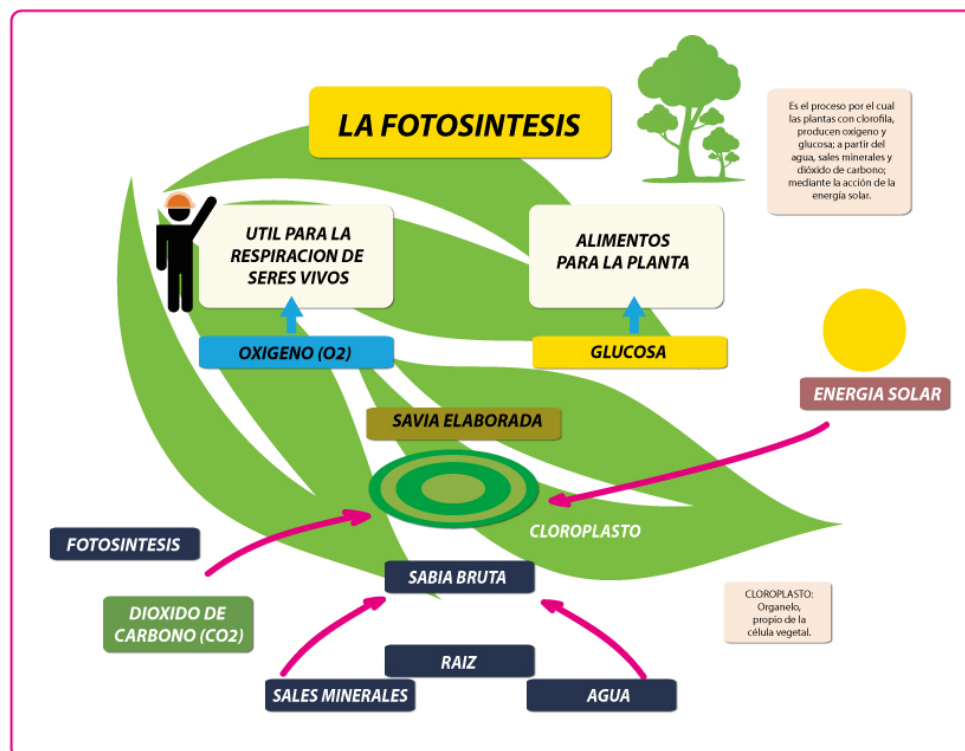
En un proceso de cambio energético la eficiencia (o rendimiento) es el cociente entre la energía utilizable (después del cambio) y la energía inicial

1.4 Conversión de Energía

Hay diversas formas de conversión de energía.

La fotosíntesis es el proceso de captura de la luz (rayos solares) los fotones dentro de una reacción fotoquímica que se lleva a CO_2 desde el medio ambiente y el agua genera una molécula de glucosa compleja con liberación de oxígeno; este proceso se produce en la superficie de las hojas de las plantas verdes. La energía almacenada en la glucosa se almacena en los distintos componentes de la planta: raíces, hojas, tallos, ramas, frutas, etc. Algunos de ellos pueden ser degradados por el sistema digestivo de los animales (y el hombre).

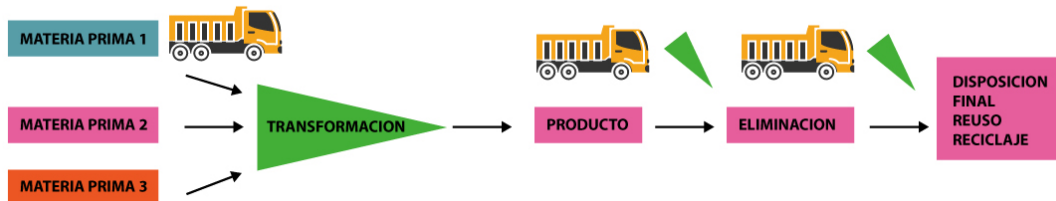
Figura 1.6: Conversión de Energía en Fotosíntesis



Fuente: <http://biologia-fisiovegetal.blogspot.com/2010/11/fotosintesis.html>

Un concepto de interés es el término energía secuestrada se refiere a toda la energía fósil utilizada durante el proceso de fabricación de un elemento. En el caso de elementos que tienen varios componentes, la energía secuestrada es el sumatorio de la energía en cada uno de los componentes.

Figura 1.7: Energía secuestrada en componentes de producción



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

Se debe tener en cuenta que esto se refiere a la cantidad total de energía utilizada para la fabricación y durante toda la vida útil de un producto o artículo dado. Este concepto se estableció originalmente presentado por Pimentel para el análisis de la productividad agrícola y la utilización de la energía. La relación de energía para ECS puede ser evaluada como la relación entre la energía total generada por el ECS de la energía total utilizada en el ciclo de vida de la ECS. La selección de la forma de energía y del sistema de conversión debe por tanto hacerse tomando en consideración el proceso.

Son considerados como ejemplos:

- Fabricación de ladrillos de arcilla cocida.
- Manufactura de textiles.
- Elaboración de harina de banano.
- Manufactura de piezas metálicas.
- Secado/ procesos de alimentos

Cuadro 1.1: Transición entre forma de Energía uso final

Forma natural	Forma derivada	Tecnología conversión	Formas/uso final
<ul style="list-style-type: none"> ■ Petróleo crudo ■ Energía solar ■ Viento ■ Caida agua ■ Geotérmica ■ Mareas/olas ■ Biomasa 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hidrocarburos ■ Kerosene ■ Diesel ■ Gasolina ■ Fuel oil ■ Alquitrán ■ Electricidad ■ Calor almacenado 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hornilla ■ Horno ■ Motor ■ Máquina ■ Rueda de paletas ■ Reactor ■ Procesador ■ Prensa ■ Caldero 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Calor ■ Vapor ■ Energía mecánica ■ Potencia eje

Figura 1.8: Fabricación de ladrillos artesanales



1.5 Ciclos Naturales relacionados a las fuentes renovables de Energía

1.5.1 Ciclo de la biomasa

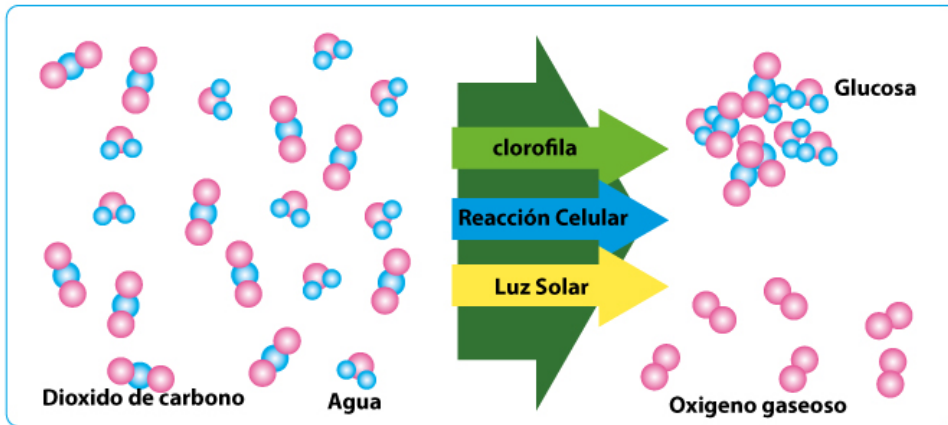
El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros). Esta es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde que nuestros ancestros descubrieron el secreto del fuego.

Se considera que la biomasa es una fuente renovable de energía porque su valor proviene del Sol. A través del proceso de fotosíntesis, la clorofila de las plantas captura su energía, y convierte el dióxido de carbono (CO_2) del aire y el agua del suelo en carbohidratos, para formar la materia orgánica.

La **FOTOSÍNTESIS** es posible gracias a una sustancia denominada clorofila. Se trata de un pigmento de color verde que se encuentra en las plantas y procariotas que realizan la función cloroflica.

La fotosíntesis es un proceso que ocurre en dos etapas o fases. La primera fase es un proceso que depende de la luz (reacciones lumínicas): requiere de la energía directa de la luz que genera los transportadores que son utilizados en la segunda fase (reacciones oscuras).

Cuando la luz es absorbida por los pigmentos verdes de la clorofila (la unidad estructural de la fotosíntesis es el cloroplasto), parte de esta energía se emplea para separar las moléculas de agua. El primero de los productos de la reacción es oxígeno (O_2), que se libera. Los otros productos de la reacción son los iones de hidrógeno (H^+) (e^- , representa un electrón excitado de un átomo).



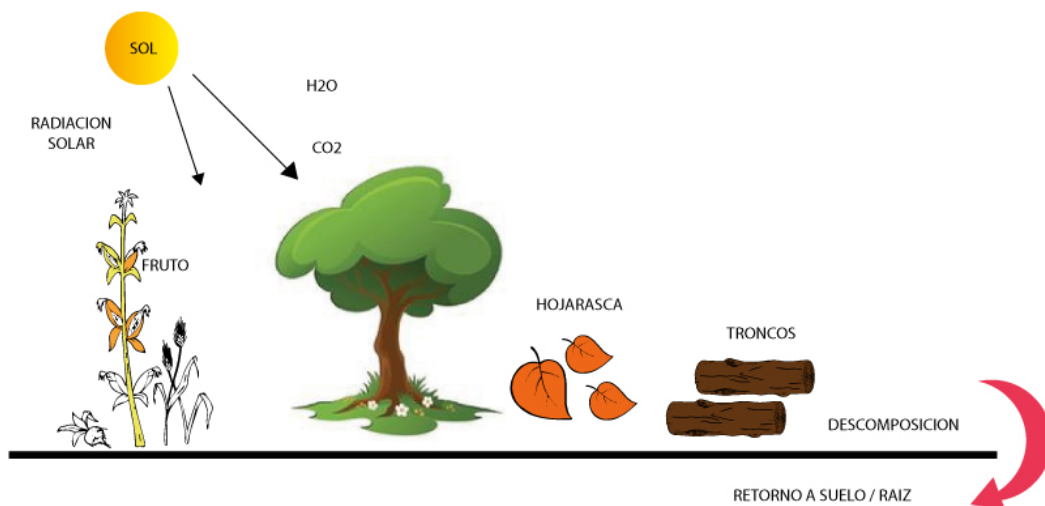
Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

La energía transportada de las partículas de H^+ y e^- , las cuales, después de una serie de reacciones de oxido-reducción, se convierten en ATP-adenosín trifosfato (principal producto químico utilizado por los sistemas vivientes en la segunda etapa).

La fase independiente de la luz (reacciones de oscuridad), se realiza cuando los productos de la primera etapa, más (O_2), son utilizados para formar, mediante reacciones enzimáticas, los enlaces covalentes carbono-carbono (C-C) de los carbohidratos (CH_2O)

Cuando estos carbohidratos se queman, regresan a su forma de dióxido de carbono y agua, liberando la energía que contienen. En la Figura 1.9 se muestra este proceso y la biomasa existente en un bosque.

Figura 1.9: Biomasa existente en un bosque



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

Las formas más generales de energía renovable son las que provienen del sol, viento y agua. Sin embargo hay que considerar otros elementos que proveen altos porcentajes de energía tales como: la leña, carbón, cascarilla de arroz.

La forma más común de utilizar la energía de la biomasa ha sido por medio de la combustión directa.

La conversión de energía solar a energía bioquímica almacenada en la biomasa comprende o hace pasos intermedios entre cada uno de los cuales hay una eficiencia de conversión.

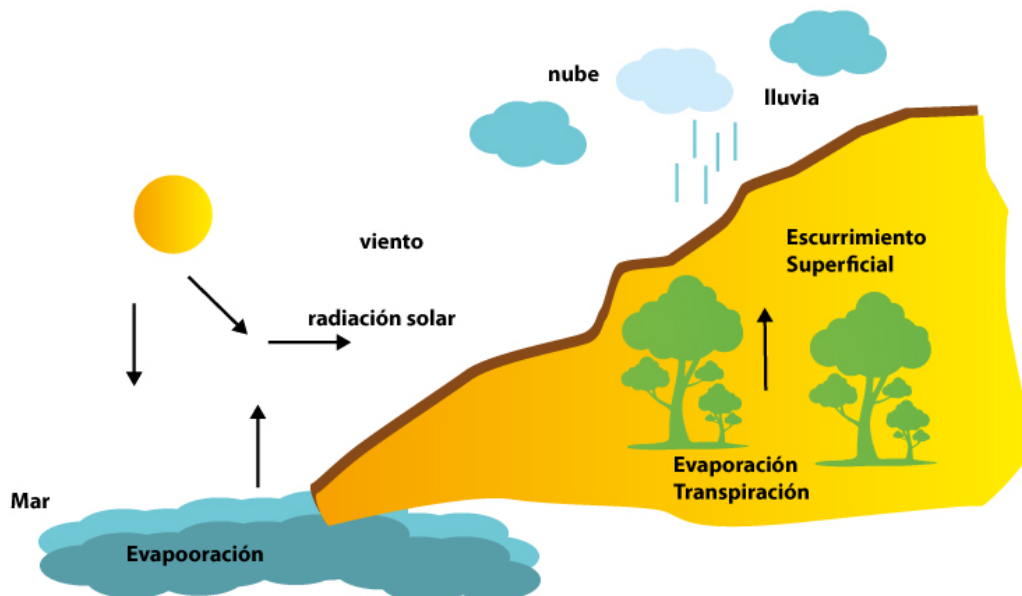
Así por ejemplo, del total 100 % de la energía que cae sobre las áreas fotocaptadoras de la planta en su mayoría hojas verdes, solamente el 50 % de esta es fotosintéticamente activa. O a su vez el 80 % de esta fracción es absorbida por la planta, y así sucesivamente.

Las fuentes más importantes de la biomasa son los campos forestales y agrícolas, donde se producen residuos que normalmente son dejados en el campo y el aprovechamiento de estas fuentes actualmente se realiza con fines energéticos.

En la agroindustria, los procesos de secado de granos generan subproductos que son usados para generación de calor en sistemas de combustión directa; tal es el caso del bagazo de caña de azúcar, la cascarilla de café y la de arroz.

1.5.2 Ciclo hidráulico

Figura 1.10: Ciclo hidráulico



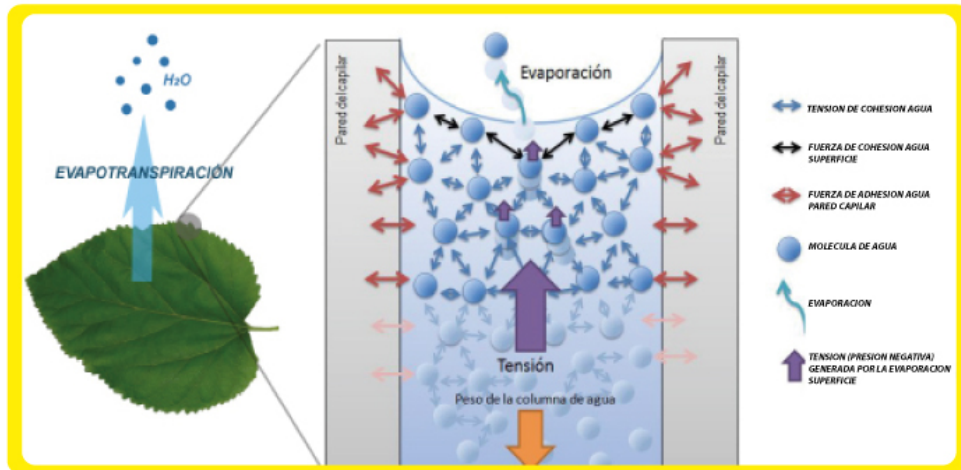
Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

El ciclo hidráulico se describe en los siguientes puntos de la Figura 1.10 :

- La radiación solar incide sobre superficie de agua generando evaporación, esta se condensa en nubes.
- Las nubes son desplazadas por el viento.
- La lluvia se precipita en zonas altas.
- Las precipitaciones se desplazan en escorrentía superficial a través de la cuenca hacia el mar, una parte se desplaza por escorrentía subterránea.
- El agua de la capa freática se desplaza por evapo-transpiración a través de vegetación.

La energía del sol da origen a la evaporación de agua que a su vez inicia el ciclo. Tenga en cuenta el efecto de la vegetación a través de la evapotranspiración. Véase la Figura 1.11.

Figura 1.11: Evaporación de agua



Fuente: <http://naturalmenteciencias.wordpress.com/2013/04/23/plantas-sin-corazon-pero-con-xilema-floema-y-nociones-de-fisica/>

La evapotranspiración tiene el mismo principio de la evaporación, excepto que la superficie de la cual se escapan las moléculas de agua no es una superficie de agua, sino de hojas de plantas.

Las plantas captan humedad del suelo a través de sus raíces y la transfieren al entorno circundante vía evapotranspiración induciendo la formación de nubes, contribuyendo a la migración de humedad en el ciclo del agua

La cantidad de vapor de agua que transpira una planta, varía día a día con los factores ambientales que tienen efecto directo sobre las condiciones fisiológicas de las plantas y determinan la rapidez de la generación del vapor del agua en la atmósfera.

A continuación se describen los conceptos de los principales factores ambientales que tienen efecto directo sobre la evapotranspiración:

- Radiación solar
- Humedad relativa
- Temperatura
- Viento

Radiación solar

Este término comprende la luz visible y otras formas de radiación del espectro electromagnético (infrarrojas y ultravioleta). El principal efecto de la radiación proveniente del sol sobre la evapotranspiración la ejerce la luz sobre las estomas de la hoja (apertura y cierre). En la mayor parte de las plantas, los estomas permanecen cerrados cuando desaparece la luz. En la Figura 1.12 se aprecian los estomas dentro de la fisonomía de la hoja.

Figura 1.12: Estomas dentro de la fisonomía de la hoja



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

Humedad relativa

Es una condición dada de temperatura y presión, es el cociente entre la cantidad de vapor de agua que el aire tiene en una condición dada versus la máxima cantidad de humedad que el aire podría contener a esas condiciones.

La humedad de saturación es el límite de vapor de agua que el aire puede mantener en la fase de vapor; cualquier cantidad mayor de vapor de agua se condensará formando gotillas (rocío).

Si los estomas están cubiertos, la difusión del vapor de agua de las hojas dependerá de la diferencia entre la presión de vapor de agua en los espacios intercelulares y la presión de vapor de la atmósfera exterior.

Temperatura

Es el indicador de la actividad de la energía interna de los cuerpos que a su vez se mide por el grado de actividad de las partículas. A mayor energía interna del sistema aumenta la actividad y por lo tanto aumenta la temperatura.

La temperatura influye en la velocidad con que se difunde el vapor de agua en la hoja a través de los estomas, cuanto más alta sea la temperatura más alta es la velocidad de difusión dentro del rango en que no se afecta la fisiología de la planta.

Viento

Es el aire en movimiento en la atmósfera. El efecto del viento sobre la evapotranspiración dependerá de las condiciones ambientales. Un aumento en la velocidad del viento, dentro de ciertos límites significa una mayor evapotranspiración, porque induce la entrada de aire fresco que puede acarrear la humedad.

Puede decirse que la evapotranspiración aumenta relativamente más, por los efectos de una brisa suave (rango de 0 a 3 km/hora), que por vientos de mayor velocidad. A mayor velocidad del viento se aprecia un efecto retardante sobre la evapotranspiración, debido al cierre de los estomas bajo esta condición.

El efecto del viento puede ser indirecto sobre la evapotranspiración a través de la influencia que ejerce la temperatura en las hojas.

1.6 Sistemas de Conversión de Energía- ECS

Un proceso de transformación productiva consiste típicamente en hacer pasar uno o más insumos (materia prima) por un conjunto de pasos de transformación hasta generar un producto. La energía es uno de los elementos importantes en este proceso de transformación. La participación de los principales elementos se presenta en el esquema siguiente.

Figura 1.13: Esquema de los procesos de Producción / Transformación / Requerimientos / Productos / Componentes.



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

Se entiende como **sistema** como un conjunto de elementos para llevar a cabo alguna función útil. Piezas mecánicas como una palanca, un piñón y un engranaje de elementos. Sistemas cuya finalidad es permitir que los procesos de conversión de energía que tienen lugar son Conversion Energy Systems-ECS.

Plantas y animales pueden ser considerados ECS. Una bombilla de luz es un ECS convertir la electricidad en luz. Una vela que convierte la energía química almacenada de la parafina de la vela en el calor y la luminosidad.

Un horno convierte la energía química almacenada de un combustible en energía térmica (llama y gases calientes), y a continuación, transfiere el calor a una masa de material para el calentamiento (hornos metalúrgicos, hornos, etc).

Como ejemplo de Sistema de Conversión se tienen entre otros los siguientes: el motor de combustión interna. Conversión termo-eléctrica es la conversión de electricidad en calor o viceversa. Un molino de viento lleva la energía del viento y la convierte en energía mecánica (potencia en el eje)

La relación de energía para Sistemas de Conversión de Energía- ECS- puede ser evaluada como la relación entre la energía total generada por el ECS de la energía total utilizada en el ciclo de vida de la ECS

El cociente de energía (energy ratio) es la relación entre la energía generada por un sistema y la energía suministrada al mismo. Se refiere a energía del tipo fósil; incluyendo toda aquella que se utilizará en el ciclo de vida del sistema dado. Esto se aplica tanto a equipos como a tecnología (equipos) como a productos ejemplo biocombustible.

Una vez explicado el concepto de cociente de energía para los ECS, tenemos la base para aplicarlo a distintas tecnologías. Por ejemplo, considere la cantidad de energía “secuestrado” en un sistema fotovoltaico que comprende paneles fotovoltaicos, bastidor de soporte, cableado, carga /regulador de carga y baterías. Cada componente tendrá una cantidad de energía secuestrada que depende básicamente de la cantidad de energía neta utilizada para su construcción. Véase descripción de pasos en la figura anterior.

Una vez que se conoce los consumos específicos de energía (SEC-Specific Energy Consumption) de cada componente, se podrá encontrar la cantidad de energía secuestrada en cada componente multiplicando la masa de este por el consumo específico de energía.

Y al sumatorio de consumos de cada componente y la energía total secuestrada en el equipo (consumo global).

1.7 Satisfacción de necesidades que requieren energía

Existe una serie de necesidades básicas tales como: alimentación, protección de los elementos (vivienda), medios de transportación, agua para consumo humano, iluminación nocturna, calefacción, climatización de ambientes y otros. De ello se derivan requerimientos energéticos para satisfacer estas necesidades básicas.

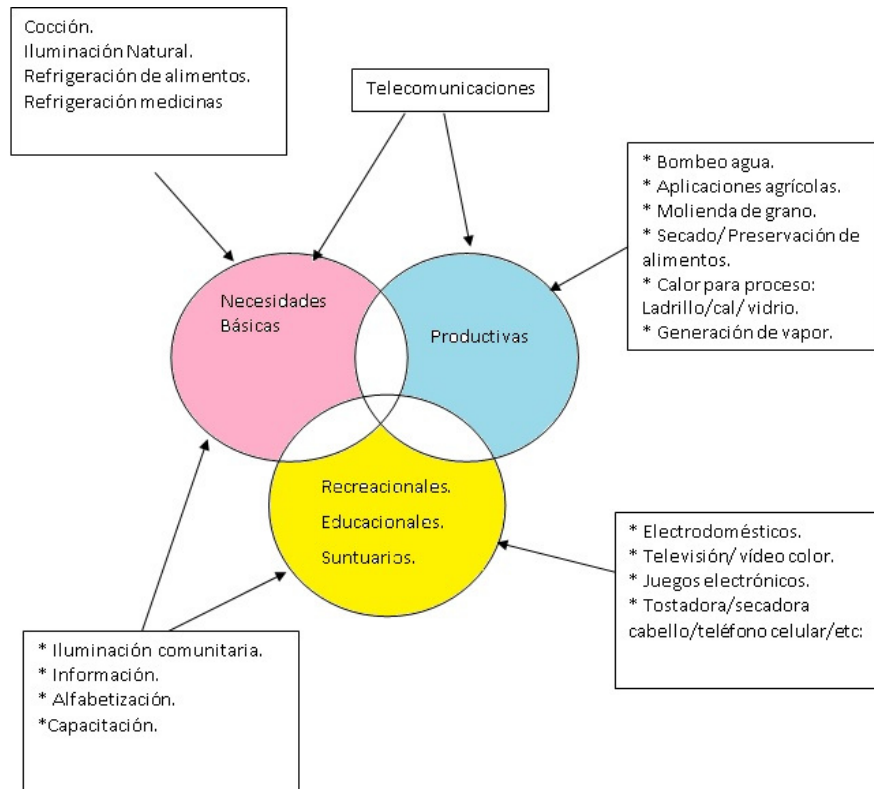
Así por ejemplo: la cocción de alimentos, que se requiere para hacerlos más digeribles o para eliminarlos sus componentes patógenos demanda el suministro de calor, el cual puede ser basado en fuentes directas como leña, combustible (GLP), Gas natural (GN), kerex ó electricidad u otro.

Esto implica que se usen fuentes intermedias y tecnología de conversión tal como el equipo que se usa para cocinar. Por otro lado, en los procesos de transformación industrial, la energía es un elemento muy importante

Se puede prever algunas de las necesidades que no son básicos en la actualidad y podrían llegar a ser fundamental en el futuro como lo son las necesidades productivas. Tenga en cuenta que el concepto de desarrollo se basa en el concepto de energía básica y productiva.

En la Figura 1.14 se muestra un “Esquema de Uso de la energía para satisfacer necesidades humanas y comunitarias”

Figura 1.14: Esquema de Uso de la energía



El uso de energía es una parte integral del mundo moderno, sobre todo en las naciones económicamente prósperas - de hecho, un indicador es el consumo de energía per cápita. Sin embargo, este indicador debe ser calificado por otros factores relacionados, como por ejemplo: la racionalidad de los usos finales, los niveles de eficiencia de conversión de energía; el Impacto ambiental de los sistemas de conversión / Conversión de la utilización de energía. Y para esta calificación partimos de establecer la demanda mensual de energía para la comunidad, así como la potencia máxima requerida.

Un patrón típico de la demanda se refleja en la cantidad de energía requerida por los hogares. Con esto se podría establecer, la demanda total de energía diaria para toda la comunidad. Tenga en cuenta que la demanda total de energía es aditiva. A esto deberá sumarse el consumo comercial e industrial.

Debe hacerse notar que en muchos casos se requieren transformar las energías primarias en formas secundarias de energía, generando la llamada energía comercial tal como: electricidad, gasolina, gas natural vehicular, etc.

Es necesario tomar en consideración las variaciones históricas de la demanda, con el objeto de realizar proyecciones de la energía requerida a futuro. Por otra parte, se puede con esta base establecer estrategias para cumplir los planes de desarrollo regional, y perspectivas para el uso de tecnologías renovables.

Por otra parte, ciertas necesidades, como el bombeo de agua para la agricultura, son más de la demanda flexible y pueden adaptarse a diferentes patrones de alimentación durante el día. Otro ejemplo es el uso de tanques de almacenamiento que pueden ser utilizados para el agua.

EJEMPLO PARA DETERMINAR CONSUMO BASICO DE ENERGÍA A NIVEL DOMICILIARIO

Considere un conjunto de 100 familias en una zona remota. Las familias tienen los utensilios que se indican a continuación en las horas aproximadas que se mencionan. Asuma que el 40% de las familias tienen refrigeradores y consumen 2.8 kwh/día, que hay tres refrigeradores y consumen 12 kwh/día cada uno.

Cada familia tiene 3 focos de 13 vatios encendidos de 6 a 11 pm; un foco de 8 vatios encendidos de 6 pm a 6am, un ventilador de 20 vatios encendido de 10 am a 4 pm.

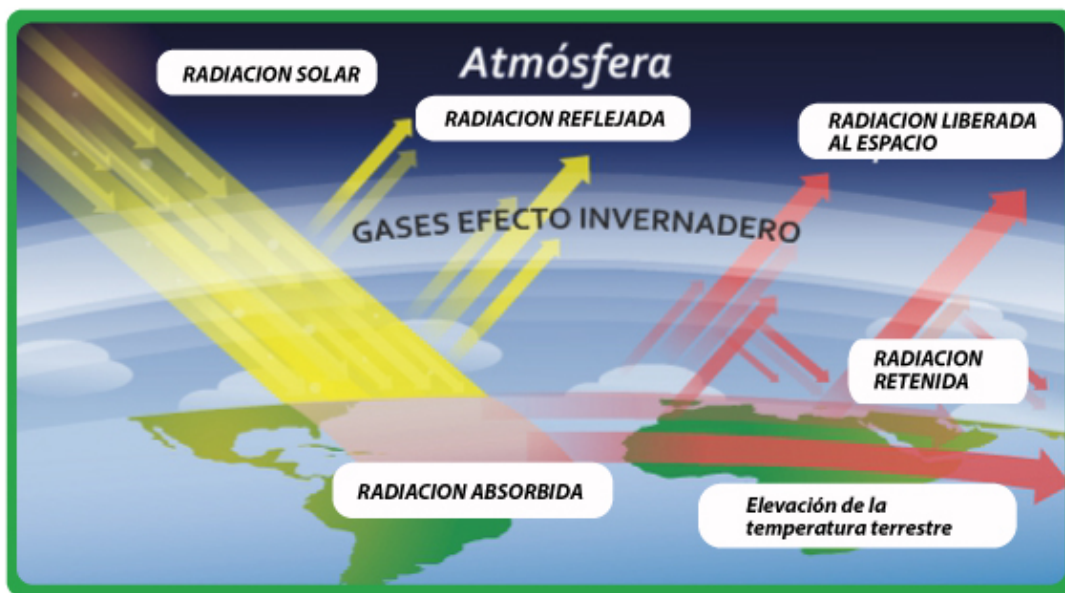
Los televisores son de 35 vatios, uno por familia con la siguiente secuencia: 6-9 am (30% de la familia), 12 am hasta las 2 pm (20% de las familias), 5 a 11 pm (80% de las familias).

1.8 El cambio climático, efecto invernadero y lluvia ácida

El Cambio climático y la actividad humana, se relacionan principalmente por el uso de combustibles fósiles, los cuales emiten millones de toneladas de los denominados “gases de efecto invernadero” a la atmósfera. Estos incluyen el dióxido de carbono y el metano, entre otros, y contribuyen a modificar el clima global.

Los Gases de efecto invernadero que contribuyen a modificar el balance de energía al bloquear parcialmente la radiación terrestre. Esto conduce consecuentemente a un gradual aumento de la temperatura de la atmósfera.

Figura 1.15: Efectos de los gases de efecto invernadero



Fuente: <http://recuperacionsociales.blogspot.com/>

El dióxido de carbono es el resultado natural de los procesos de oxidación del combustible fósil y de combustible biomásico.

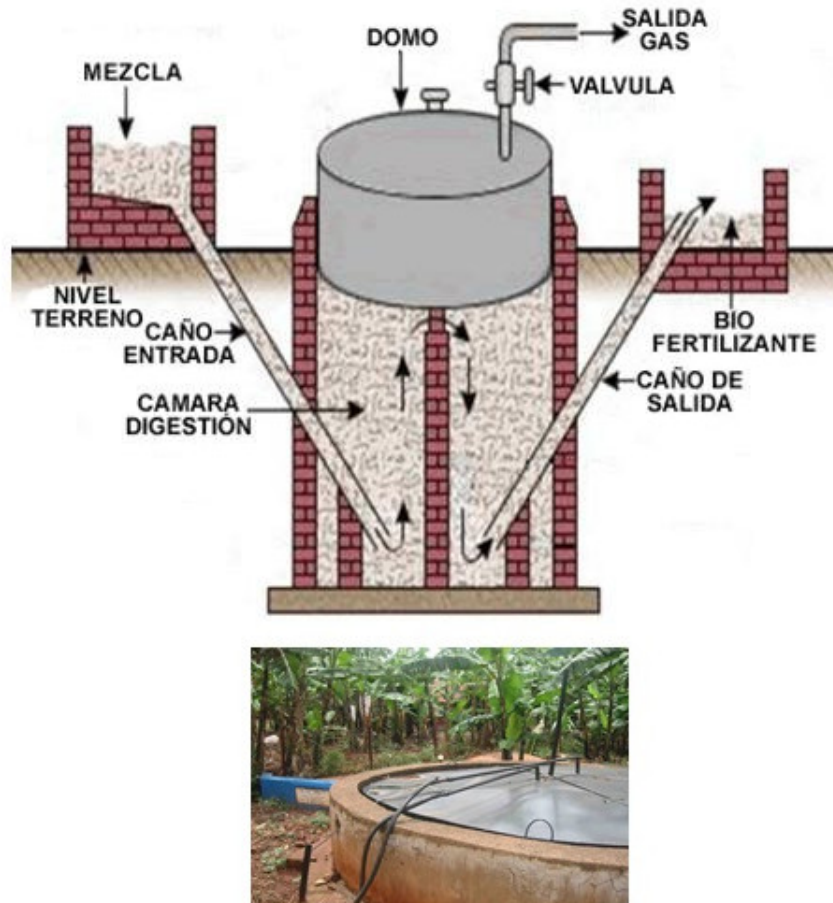
Por otro lado en ausencia del oxígeno se puede producir metano por acción bacteriana, el cual se escapa hacia la atmósfera.

Este proceso se da por ejemplo en el sistema digestivo de animales como el ganado, así como en el fondo de lagunas .

Este fenómeno contribuye al cambio climático por vía efecto invernadero.

El metano que escapa de los rellenos sanitarios y de las aguas residuales de procesos industriales, agrícolas y urbanos, puede ser minimizado al convertirlo en energía térmica, eléctrica o mecánica. Un ejemplo de esto es el acople de un digestor que produce biogas a un motor-generador, que usa este biogas como combustible, generando energía eléctrica.

Figura 1.16: Biodigestor Tipo Hindú



Fuente: <http://energianatural.com.ar/biogas02.html>

Las cosechas capturan carbono a través de las plantas mientras crecen, produciendo un balance natural de carbono en los suelos. Cuando se quema biomasa, el dióxido de carbono liberado es absorbido por la siguiente cosecha en crecimiento; este se denomina un “ciclo cerrado de carbono”. De hecho, la cantidad de carbono secuestrado puede ser mayor que la del liberado durante la combustión debido a que muchos de los cultivos energéticos son permanentes: al utilizar solo una parte de la planta las raíces, además de estabilizar los suelos, secuestran carbono en su regeneración año tras año.

La lluvia ácida es causada, principalmente, por las emanaciones de sulfuro y óxido de nitrógeno de la combustión de hidrocarburos y causa la muerte de cultivos y la contaminación de las aguas; además de ser nocivo para la vida humana y silvestre. Dado que la biomasa no tiene contenido de sulfuro, su conversión en energía no produce lluvia ácida.

Una parte de GEI se deben a la generación de productos de combustión. En ese contexto las Fuentes Renovables de Energía (FRE) pueden ayudar a reducir las emisiones de estos gases.

El aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía ofrece un amplio rango de beneficios ambientales: puede contribuir a mitigar el cambio climático y el efecto invernadero,

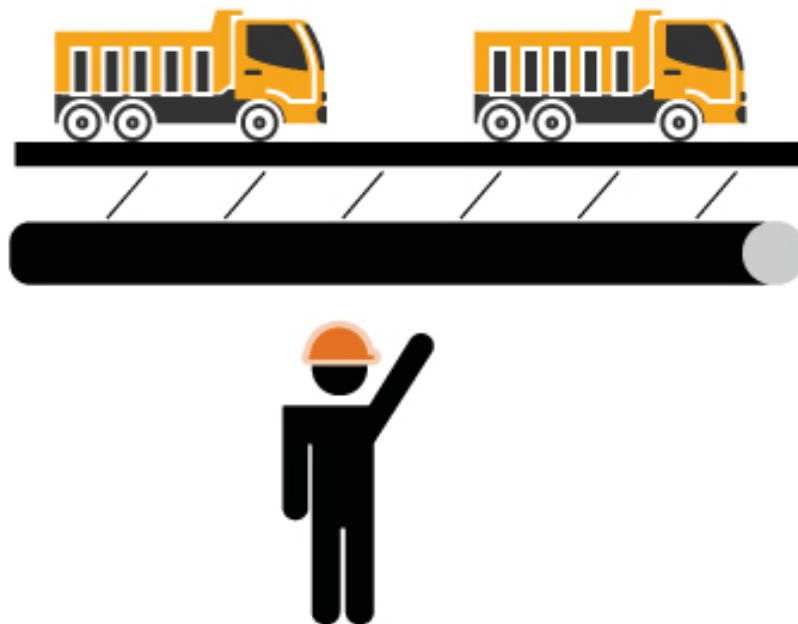
reducir la lluvia ácida, prevenir la erosión de los suelos y la contaminación de las fuentes de agua, reducir la presión provocada por la basura urbana, enriquecer el hábitat de la vida silvestre y ayudar a mantener la salud humana y estabilidad de los ecosistemas.

1.9 Vulnerabilidad

Se define como la susceptibilidad de los sistemas a daños En el contexto de sistemas de generación de energía puede entenderse la vulnerabilidad como la susceptibilidad que tienen estos sistemas a ser puestos fuera de servicio por algún daño.

Queda implícito la existencia de peligros que acechen a estos sistemas por ejemplo: inundaciones, deslaves, roturas Ejem: una tubería metálica que conduce agua, enterrada debajo de una vía vehicular, que puede presentar eventualmente rotura por sobre-esfuerzo inducido por el paso vehicular. La vulnerabilidad es un concepto relativo y dinámico..

Figura 1.17: Ejemplo Vulnerabilidad: Tubería bajo suelo con peligro de romperse por paso de vehículos pesados



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

Niveles de Complejidad Tecnológica

Todo sistema tiene un nivel de complejidad tecnológica, esto depende del tipo de tecnología. Así por ejemplo; un generador eléctrico pequeño es relativamente simple de operar requiriendo sólo de entrenamiento básico para el operador; sin embargo en caso de daño, deberá requerir de un operador relativamente especializado es decir con mejor nivel tecnológico. De aquí se origina el concepto de complejidad tecnológica relativa que implica una comparación entre los diversos niveles de complejidad tecnológica del equipo y el nivel tecnológico de la comunidad en donde opera el equipo.

En el nivel tecnológico del equipo deben tomarse en cuenta las etapas de operación, mantenimiento, reparación, etc.

Debe existir una armonización entre demanda y suministro de energía.

En resumen, debe existir compaginación entre **el uso final y el suministro de energía**. El acople se da a través de la tecnología, tanto de transformación como de utilización.

Cada proceso de conversión de energía introduce **ineficiencias**. Se define eficiencia como la relación entre la forma final de energía y la energía suministrada. Es importante por tanto reducir los pasos y procesos de conversión al mínimo indispensable. Esto introduce la necesidad de **optimización**

La selección de la fuente de energía depende de la calidad intrínseca de cada uno, así como de la aplicabilidad de dichas fuentes y de sus procesos de conversión al uso final. Debe hacerse **USO RACIONAL DE LA ENERGIA**

En los sistemas industriales existen requerimientos típicos de calor y trabajo, los cuales se satisfacen convencionalmente de manera separada. Los ciclos de generación de fuerza (Trabajo) requieren de la eliminación de cantidades relativamente grandes de calor (Calor rechazado en el sumidero a baja temperatura) y calor sensible en gases de salida. Esto los hace susceptibles de mejorar la eficiencia global a través de los **procesos combinados de calor y trabajo**.

La transformación de una forma de energía a otra se da en los **SISTEMAS DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA**. Estos se clasifican de acuerdo a la forma inicial y la forma final de la energía. Así, existen los sistemas: solar térmico; solar fotovoltaico; termoquímico, termomecánico y otros. Por ejemplo: la energía química almacenada en un combustible (tómese fuel oil) se convierte a energía térmica por medio de la reacción de oxidación en aire que se da en la cámara de combustión de un horno industrial (esto es conversión termoquímica). Esta energía térmica puede a su vez transferirse de los gases de combustión a una carga térmica (conversión térmica – térmica). Radiación solar puede convertirse en electricidad en celdas fotovoltaicas (Conversión Fotoeléctrica). Etc.

1.10 Sistema de unidades y conversiones

TABLA DE MAGNITUDES

CONCEPTO	NOMBRE	SIMBOLOGÍA
LONGITUD	METRO	m
MASA	KILOGRAMO	kg
TIEMPO	SEGUNDO	s
FUERZA	NEWTON	N
ENERGÍA, TRABAJO, CANTIDAD DE CALOR	JULIO	J
TEMPERATURA	KELVIN	°K
CANTIDAD DE SUSTANCIA	MOL	mol
PRESIÓN	PASCAL	Pa
POTENCIA	VATIO	W
INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA	AMPERIO	A
TENSIÓN ELÉCTRICA	VOLTIO	V
RESISTENCIA ELÉCTRICA	OHMIO	V
CANTIDAD DE CARGA ELÉCTRICA	CULOMBIO	C
FRECUENCIA	HERTZIO	Hz

Constantes

Velocidad de la luz (c) en el vacío = 299792458 m/s

Velocidad del sonido = 331.45 m/s

Aceleración de la gravedad (g) = 9.806 65 m/s²

Múltiplos

KJ	10^3	(KILO)
MJ	10^6	(MEGA)
GJ	10^9	(GIGA)
TJ	10^{12}	(TERA)
PJ	10^{15}	(PENTA)
EJ	10^{18}	(EXA)

Submúltiplos

d	10^{-1}	(deci)
c	10^{-2}	(centi)
m	10^{-3}	(Mili)
μ	10^{-6}	(Micro)
n	10^{-9}	(Nano)
p	10^{-12}	(Pico)
f	10^{-15}	(Femto)
a	10^{-18}	(Ato)

Tabla de conversiones principales**Longitud**

1 pulgada equivale a 2.54 cm

1 pie equivale a 0.304 m

1 yarda equivale a 0.914 m

Volumen

1000 litros equivale a 1 m^3

1 galon U.S. equivale a 3.785 litros

1 barril equivale a 158.9 litros

1.000 m^3 gas equivale aproximadamente 6.81 barriles de petróleo

1.000 m^3 gas equivale aproximadamente 0.9 tep

1 Tn petróleo equivale aproximadamente 7.3 barriles

Energía

1 kcal equivale a 4.186 kJ

1 BTU equivale a 1.055 J (British Thermal Unit)

1 kg de petróleo equivale a 11 kWh o 39.600 kJ.

1 Tep. equivale a 42.000 MJ ó 11.600 kWh (Tep=Tn equivalente de petróleo)

1 Tec equivale a 28.000 MJ ó 7.500 kWh (Tec=Tn equivalente de carbón)

Potencia

1 CV equivale a 0.76 kW

1 HP equivale a 0.746 kW

Presión

1 atmósfera equivalen a 101325 Pa

1bar equivalen a 101325 Pa

14.7 psi equivalen a 101325 Pa (pound per square inch)

Temperatura

Celsius a Kelvin

$$T (^{\circ}\text{C}) + 273.15$$

Fahrenheit a Celsius

$$5/9 * (T(^{\circ}\text{F}) - 32) + 273.15$$

2 — ENERGÍA SOLAR

La radiación solar que incidente sobre el planeta ha sido y **es el elemento energizante** de casi la totalidad de los procesos naturales y artificiales de la Tierra. La radiación solar calienta la atmósfera y el suelo, es la causa de los vientos, del ciclo del agua, calienta los océanos, hace crecer las plantas, entre otros aspecto importante de nuestro ciclo de vida. El aprovechamiento de esta fuente de energía útil tiene como objetivo de manera general desprendernos del uso continuo de los combustibles fósiles, permitiendo el ahorro en energías no renovables además de amortizar el impacto ambiental generado.

En este capítulo se presenta una visión general de la energía solar, se comentan algunos conceptos de radiación, así, como los parámetros necesarios para realizar una instalación solar a partir de la situación geográfica y caracterización del recurso solar, se establece una breve explicación sobre la tecnología solar térmica, funcionamiento y su aplicación en baja , media y altas temperaturas.. Finalmente se presenta una introducción a la fabricación y proceso de elaboración de la celda solar , que conforman el panel fotovoltaico permitiendo convertir la energía solar en electricidad.

Objetivo del Capítulo II

- Describir los principales conceptos, definiciones y las diferentes formas de aprovechamiento de la energía solar, Interpretar variables y parametros asociados al movimiento solar, Seleccionar las diferentes aplicaciones tecnologicas en funcion de necesidades. Fundamentar sobre la importancia de la utilización de la energía solar. Transferir o Comunicar aspectos basicos acerca de la utilización de la energía solar y conocer los efectos o impacto de las aplicaciones de la energía solar en el entorno.

2.1 Radiación Solar

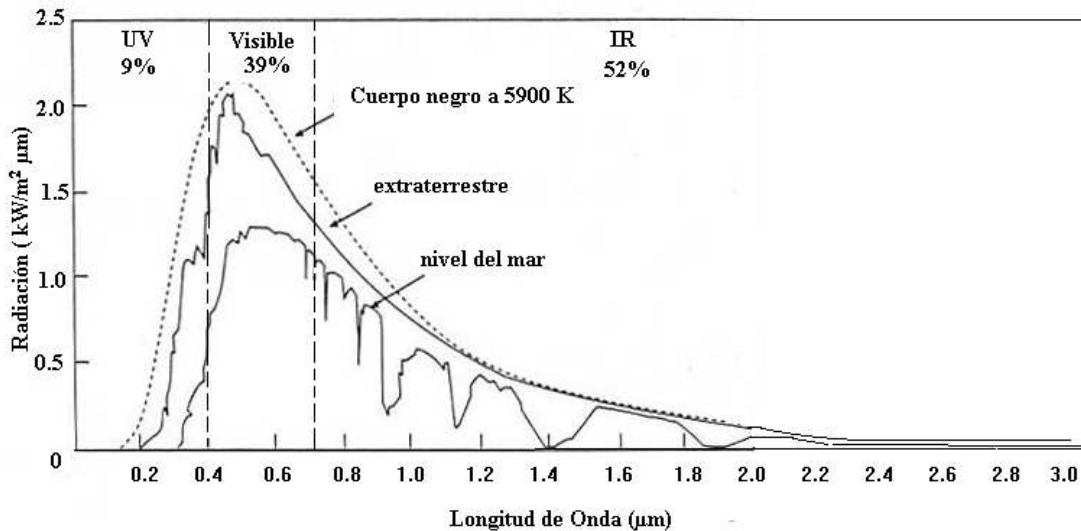
2.1.1 El sol

El sol es la fuente de energía de la tierra, siendo una estrella formada en su totalidad por hidrogeno (70%), helio (23%) y 3% de otros elementos químicos; en la que se desarrolla una reacción exotérmica debido a la reacción nuclear de fusión en consecuencia de las altas temperaturas y presión que se alcanza en su interior.

El espectro solar se parece al de un cuerpo negro con una temperatura efectiva de 5900 K, se estima que la temperatura en su región interior se encuentra entre 8×10^6 a 40×10^6 K. La luminosidad del sol es de $Q = 3.89 \times 10^{26}$ W. Se estima que el diámetro de esta esfera gaseosa es de 1.39×10^6 Km, con una masa de 2×10^{30} Kg, situado a 1.5×10^8 Km de la tierra.

La potencia térmica proveniente de estas reacciones nucleares se libera como radiación electromagnética hacia el espacio exterior. La distribución espectral de la radiación solar incidente en el tope de la atmosfera se representa a través de una grafica donde se reproduce las características de frecuencia y longitud de onda de los diversos tipos de radiaciones existentes.

Figura 2.1: Espectro electromagnético de la radiación solar extraterrestre (NASA) superpuesto al teórico correspondiente a un cuerpo negro y el espectro de la radiación a nivel del mar



Fuente : Duffie J. A; CDTS-ESPOL

De la Figura 2.1 podemos observar lo siguiente:

- La energía recibida en su totalidad (97.8 %) , se encuentra entre los 0.2 y 3 μm de longitud de onda.
- Su distribución espectral corresponde aproximadamente en; radiación ultravioleta UV (0.2 $\mu\text{m} < \lambda < 0.4 \mu\text{m}$) el 9%, luz visible (0.4 $\mu\text{m} < \lambda < 0.7 \mu\text{m}$) aporta el 39% y la radiación infrarrojo IR (0.7 $\mu\text{m} < \lambda < 3 \mu\text{m}$) suma el 52% restante.
- Una parte de la radiación es devuelta al exterior dispersada por el aire y reflejada por las nubes, mientras que otra parte es absorbida por los gases atmosféricos y por lo tanto no alcanza la superficie por lo que la radiación que llega a nivel del mar es menor que la extraterrestre.

2.1.2 La constante solar (S_0)

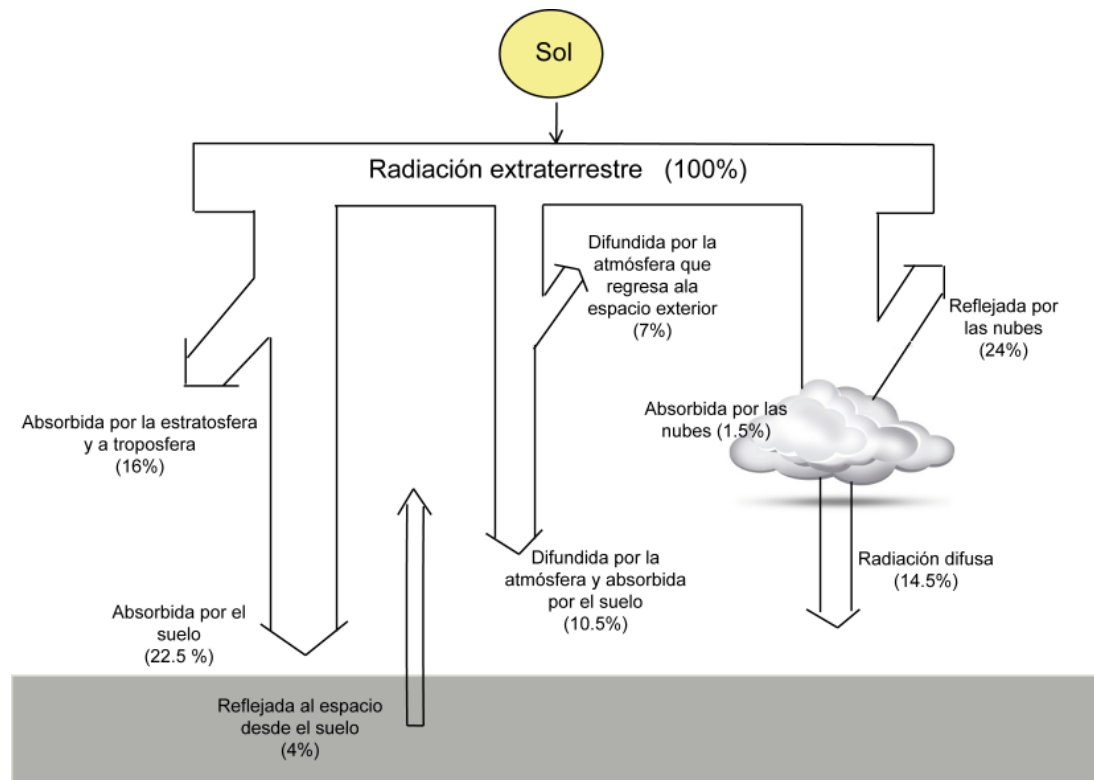
Es la potencia que recibe la tierra en el exterior de su atmosfera sobre una superficie perpendicular a los rayos solares , siendo aproximadamente de 1.367 W/m² y cuyo valor fluctúa en un $\pm 3\%$ a causa de la elipticidad de la órbita terrestre. Al atravesar esta, se produce unas pérdidas por los gases atmosféricos, llegando a la superficie terrestre una irradiancia de 1000W/m².

A la tierra solo llega aproximadamente 1/3 de la energía total interceptada por la atmósfera, y de ella el 70% cae en el mar.

Del 100% de la cantidad de energía que emite constantemente el Sol hacia la tierra; sólo el 47,5% de la energía solar incidente llega a la superficie de la tierra por tres vías: radiación directa, radiación difusa y reflejada o albedo. El 52,5% de la energía restante no alcanza la superficie de la Tierra al ser absorbida por la estratosfera (ozono), troposfera (agua, ozono y nubes), reflejada por las nubes, reflejada por el suelo y difundida por la atmósfera que se dirige hacia el cielo.

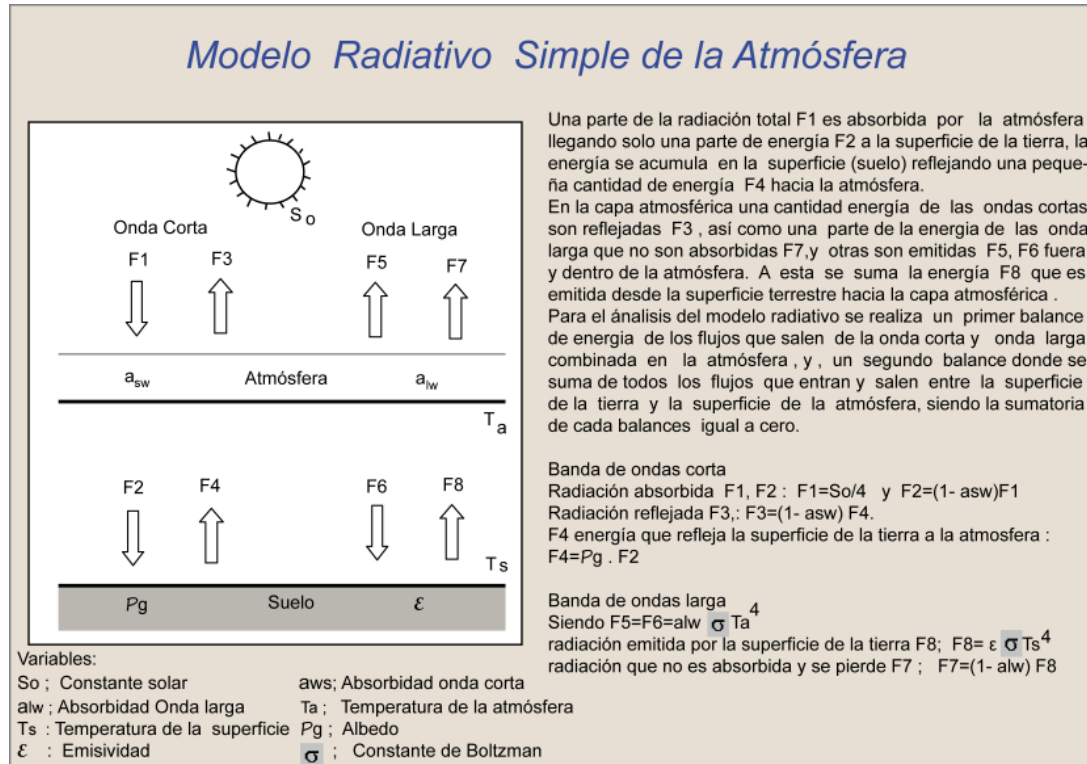
- La distribución de la energía que llega a la atmósfera terrestre en forma de radiación solar, se establece aproximadamente en; un 16% es absorbido por la estratosfera y la troposfera, un 22,5% por el suelo y el 4% es reflejada directamente al espacio desde el suelo.
- La atmósfera difunde el 17,5% de la radiación, siendo; el 10,5% absorbido por el suelo y el 7% regresa al espacio exterior.
- Las nubes reflejan al espacio exterior un 24%, absorbiendo un 1,5% y enviando al suelo el 14,5% como radiación difusa.

Figura 2.2: Distribución de la energía solar que llega a la tierra



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

Figura 2.3: Modelo Radiativo simple de la Atmósfera



Fuente : Duffie J. A; CDTs-ESPOL

La radiación solar es una fuente de energía permanente que se puede recuperar de varias formas. La energía primaria utilizada es la existente en la radiación solar que se transforma en energía térmica que puede ser utilizada como energía final o transformada en electricidad. Tradicionalmente se ha venido usando para obtener calor y, actualmente se utiliza también para producción de electricidad. Es un recurso importante a largo plazo y una alternativa real para países en desarrollo.

La energía solar es una de las energías renovables con mayor posibilidad de utilización, siendo una de las opciones más acertadas para muchos caso. A ser una de las alternativas más importantes en la actualidad, esta ofrece una serie de ventaja y desventajas tales como:

Ventajas :

- No daña al medio ambiente y lo mas impórtate no contribuye al cambio climático.
- Es considerada como una fuente inagotable.
- No hay dependencia de las compañías suministradoras.
- Capacidad de aprovechar la electricidad en sitios donde el tendido eléctrico es dificultosos y costoso su traslado.
- Los sistemas de captación solar que se suelen utilizar son de fácil mantenimiento.
- Las instalación al principio suponen un costo caro , pero a mediano y largo plazo es un gran ahorro en el consumo eléctrico.
- La disponibilidad de energía solar reduce la dependencia de otros países para el abastecimiento de energía de la población.

Inconvenientes:

- En algunos casos se precisa sistema de acumulación (Batería).
- Gran espacio requerido por la extensión requerida para los paneles fotovoltaicos en grandes instalaciones.
- Impacto visual negativo si no se cuida la integración de los módulos solares en el entorno.
- Requiere una **fuerte inversión económica** para su instalación, sobre todo si se compara con otro tipo de instalación que generan la misma potencia.
- Los equipos solares sólo son capaces de almacenar energía mientras hay luz y depende del grado de insolación.
- El rendimiento es bajo debido a la baja eficiencia.

2.2 Definiciones Básicas**2.2.1 Tipos de radiación solar**

- **Radiación solar:** Energía procedente del sol en forma de ondas electromagnéticas
- **Irradiancia G:** Considerada como una densidad de potencia que incide en una superficie, es decir, es un valor instantáneo para una superficie de 1 m^2 , se mide en W/m^2 .
- **Irradiación I:** Es una densidad de energía que se obtiene a través de la integración de la irradiancia sobre un periodo de tiempo específico, típicamente una hora o un día, es decir, es el valor durante un tiempo de radiación para una superficie de, mide en J/m^2 o Wh/m^2 .
- **Radiación solar Directa (G_b):** Es la radiación que proviene del sol a través del camino óptico, es decir, es la radiación recibida por el sol sin que se desvíe en su paso por la atmósfera.
- **Radiación solar Difusa (G_d):** Es la radiación que proviene del sol después de haber sido dispersada por la atmósfera sin ser direccional, es decir, sufre cambios en su dirección principalmente debido a la reflexión y difusión en la atmósfera.
- **Radiación solar total (G_T):** Es la suma de la radiación directa y difusa, que se mide sobre una superficie horizontal.
- **Albedo (ρ_g):** Es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas.

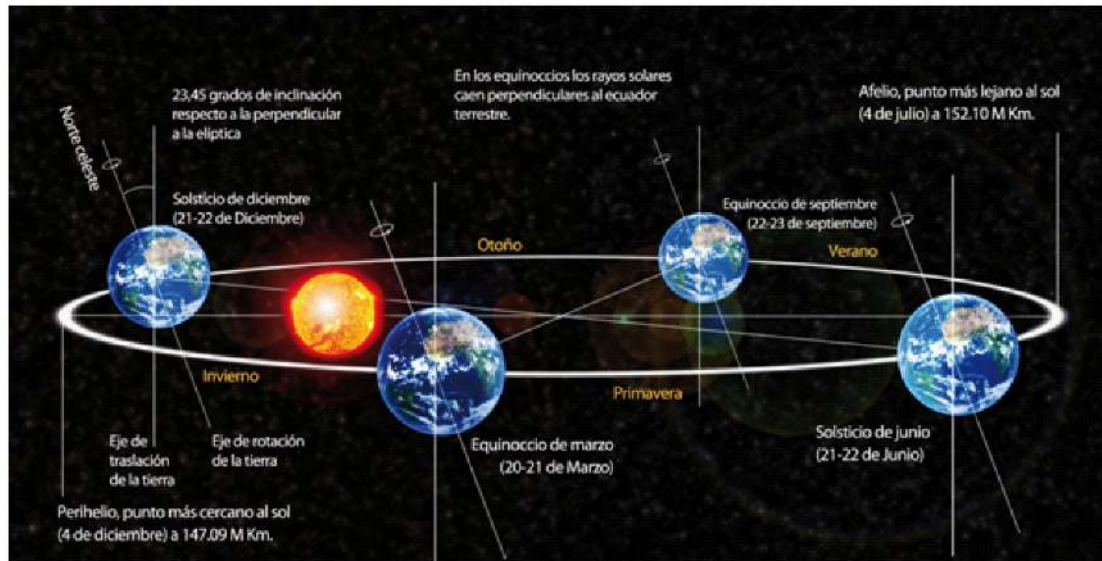
2.2.2 Geometría de la radiación solar terrestre**Latitud (λ)**

Angulo que forma la línea del sol con el plano del ecuador en la posición del observador.

Declinación (δ)

Considerado como la posición angular del sol respecto al plano del ecuador en el mediodía solar, (Ec.1) y su valor de este ángulo se suele tomar cada día al mediodía solar. Esto es debido a que el eje de rotación de la Tierra está inclinado un ángulo de $23^\circ 45'$ respecto al eje del plano que contiene la órbita que describe alrededor del Sol y de ahí que el valor de la declinación varía entre $\pm 23^\circ 45'$ a lo largo del año. Cabe indicar que la declinación al Norte del Ecuador se considera positiva.

Figura 2.4: Declinación de la tierra, solsticios y equinoccios



Equinoccios

Los Equinoccios son aquellos momentos en que el sol se encuentra sobre el ecuador lo que produce que los días y las noches tengan la misma duración.

Solsticios

Los Solsticios son aquellos momentos en que el sol se encuentra uno de los dos trópicos (trópico de cáncer 21 de junio, trópico de capricornio 21 de diciembre). Ejemplo el solsticio de diciembre ocurre en el hemisferio norte haciendo que el día sea más corto y la noche más larga en cambio en el hemisferio sur la noche es más corta y el día es más largo, y viceversa cuando ocurre el solsticio de Junio.

Día juliano

El día juliano será igual al día del mes más los días transcurridos de los meses.

Cuadro 2.1: Día juliano

Mes	Año Normal		Año Bisiesto	
	Días del mes	Días transcurrido	Días del mes	Días transcurrido
Enero	31	0	31	0
Febrero	28	31	29	31
Marzo	31	59	31	60
Abril	30	90	30	91
Mayo	31	120	31	121
Junio	30	151	30	152
Julio	31	181	31	182
Agosto	31	212	31	213
Septiembre	30	243	30	244
Octubre	31	273	31	274
Noviembre	30	304	30	305
Diciembre	31	334	31	335

Ángulo horario (τ)

Comprendido entre el plano meridiano que pasa por un punto considerado y el plano meridiano que pasa por el sol, su valor depende de la hora del día. (Ec.2)

Cuando el sol pasa por el punto más alto de su trayectoria (mediodía solar), el ángulo horario es nulo, antes ser negativo y positivo, teniendo en cuenta que una circunferencia completa es de 360° y que un día completo tiene 24 horas y cada hora le corresponderá un ángulo de 15° .

Ángulo cenital (θ_s)

Es el ángulo comprendido entre la vertical sobre un punto y la línea del sol. (Ec.3)

Ángulo acimutal solar o Azimut (γ_s)

Es el ángulo formado por la posición aparente del Sol en el cielo sobre el plano horizontal del observador. (Ec. 4)

Ángulo de elevación o altitud solar (α_s)

Es el ángulo comprendido entre la posición del sol y su proyección sobre el plano horizontal. (Ec. 5)

Duración del día con cielo despejado

Si es necesario conocer las horas que dura un día del año en un sitio específico, se puede determinar a través del orto y el ocaso. En el instante del ocaso su altitud es nula por consiguiente, siendo el ángulo de elevación de cero.

$$\text{Sen } \alpha_s = \cos \delta * \cos \lambda * \cos \tau + \text{sen } \delta * \text{sen } \lambda$$

Despejando la ecuación, nos da que $\text{Cos } \tau = -\text{tg } \lambda * \text{tg } \delta$, obtenemos el valor de τ

Teniendo en cuenta que $\tau = (15 t - 180)$

Procedemos a despejar el tiempo considerando primero el ángulo horario como positivo se obtiene un tiempo 1, en horario del ocaso. La hora obtenida se encuentra determinada en T.U.C. (Tiempo Universal Coordinado) por lo que hay que llevar a las horas reales del lugar a donde se encuentren.

Si considerando el ángulo horario como negativa, obtenemos un tiempo 2, siendo la hora de la salida del sol (Orto). Finalmente restamos las horas del ocaso con las horas del orto, se obtiene las horas de sol específico de un día cualquiera.

Para determinar las horas del día que estuvo el cielo despejado es necesario conocer el porcentaje de insolación en ese día en concreto y multiplicarla con las horas del día.

Otra manera también se puede determinar el número de horas del día, utilizando la Ec.6.

$$td = \frac{2}{15} \arccos (-\text{tg } \lambda * \text{tg } \delta)$$

2.2.3 Geometría de la radiación solar sobre una superficie inclinada

Los captadores tienen una declinación fija, y para optimizar sus rendimientos se orientan hacia el sentido opuesto del hemisferio donde se realizara la instalación. Por ejemplo si se requiere instalar un panel en un lugar localizado en el hemisferio Norte entonces la inclinación del panel estará orientada con vista al Sur.

Ángulo de incidencia (θ)

Ángulo entre la dirección de la radiación directa sobre la superficie de la placa y la normal a dicha superficie. Para una placa en posición horizontal, coincide con el ángulo cenital solar. (Ec. 7).

Pendiente (β)

Angulo entre el plano de la superficie de la placa y la horizontal, o entre la normal a la superficie y la vertical.

$$0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ: \beta < 90^\circ: \text{Hacia el cielo.}$$

$$\beta > 90^\circ: \text{Hacia el suelo.}$$

Elevación de placa (α)

Angulo formado por la normal a la superficie de la placa y el plano horizontal. (Ec. 8)

Angulo acimutal de la placa (γ)

Angulo que forma el plano vertical que contiene la normal a la superficie de la placa con el plano vertical meridiano local. O, también, es el ángulo entre la proyección vertical al suelo de la normal a la superficie y la dirección Sur.

Radiación solar sobre una superficie inclinada

Generalmente la radiación directa y la radiación difusa se mide sobre la superficie horizontal, pero sin embargo es necesario conocer la radiación global que incide sobre una superficie inclinada, por lo que se introduce un factor geométrico de corrección angular R_b (Ec 11 Ec. 12).

Modelo de cielo isotrópico, es una representación matemática de la radiación difusa que contiene aproximaciones razonables que consiste en despreciar tanto la componente circunsolar como la dispersión por el horizonte.

ECUACIONES GENERALES UTILIZADAS EN RADIACIÓN SOLAR

Ecuación 1:
$$\delta = 23.45^\circ \text{ sen } \left(360^\circ \frac{284+d}{365} \right)$$

Ecuación 2:
$$\tau = (15 t - 180)^\circ$$

Ecuación 3 :
$$\cos \theta_s = \cos \delta \cos \lambda \cos \tau + \text{sen } \delta \text{ sen } \lambda$$

Ecuación 4:
$$\text{sen } \gamma_s = \frac{\cos \delta \text{ sen } \tau}{\cos \alpha_s} = \frac{\cos \delta \text{ sen } \tau}{\text{sen } \theta_s}$$

Ecuación 5 :
$$\text{sen } \alpha_s = \cos \theta_s$$

Ecuación 7:

$$\cos \theta = \text{sen } \delta \cdot \text{sen } \lambda \cdot \cos \beta - \text{sen } \delta \cos \lambda \cdot \text{sen } \beta \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \cos \lambda \cdot \cos \beta \cdot \cos \tau + \cos \delta \cdot \text{sen } \lambda \cdot \text{sen } \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \tau + \cos \delta \cdot \text{sen } \beta \cdot \text{sen } \gamma \cdot \text{sen } \tau$$

Ecuación 8 :
$$\alpha = 90^\circ - \beta$$

Ecuación 9 :
$$\cos \theta = \text{sen } \theta_s \cdot \text{sen } \beta \cdot \cos(\gamma_s - \gamma) + \cos \theta_s \cdot \cos \beta$$

Placa con orientación fija

Ángulo de incidencia al medio día.

Hemisferio Norte $\theta = \lambda - \delta - \beta$

Hemisferio Sur: $\theta = \lambda - \delta + \beta$

Pendiente óptima al mediodía ($\theta = \theta_s$)

$$\text{Hemisferio Norte } \beta = \lambda - \delta - \theta_s$$

$$\text{Hemisferio Sur: } \beta = -(\lambda - \delta) + \theta_s$$

Seguimiento solar

Objetivo : $\theta = 0^\circ$ (o mínimo)

Movimiento en el eje horizontal

Ajuste diario a mediodía $\theta = 0^\circ$

$$\text{Hemisferio Norte } \beta = \lambda - \delta$$

$$\text{Hemisferio Sur: } \beta = -\lambda + \delta$$

Ajuste continuo: θ mínimo

$$\beta = \arctan(\tan \theta_s \cdot \cos \gamma_s)$$

$$\theta \text{ mínimo : } \cos \theta = (1 - \cos^2 \delta \cdot \text{sen}^2 \tau)^{\frac{1}{2}}$$

Movimiento en eje vertical

$$\theta = \theta_s - \beta, \text{ siendo } \beta = \lambda - \delta \text{ (Hemisferio Norte) , } \beta = -(\lambda - \delta) \text{ (Hemisferio Sur)}$$

Movimiento en doble eje ; $\theta = 0$, $\theta_s = \beta$, $\alpha = \alpha_s$, $\gamma = \gamma_s$

RADIACIÓN SOLAR SOBRE UNA SUPERFICIE INCLINADA

$$\text{Ecuación 10 } G_T = G_{b,T} + G_{d,T}$$

Radiación solar directa

$$\text{Ecuación 11: } G_{b,T} = G_b \cdot R_b$$

Hemisferio Norte.

$$R_b = \frac{\cos(\lambda - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau + \text{sen}(\lambda - \beta) \cdot \text{sen} \delta}{\cos \lambda \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau + \text{sen} \lambda \cdot \text{sen} \delta}$$

Hemisferio Sur

$$R_b = \frac{\cos(\lambda + \beta) \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau + \text{sen}(\lambda + \beta) \cdot \text{sen} \delta}{\cos \lambda \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau + \text{sen} \lambda \cdot \text{sen} \delta}$$

Al mediodía ($\tau = 0^\circ$)

Hemisferio Norte:

$$R_b = \frac{\cos(\lambda - \beta - \delta)}{\cos(\lambda - \delta)}$$

Hemisferio Sur :

$$R_b = \frac{\cos(\lambda + \beta - \delta)}{\cos(\lambda - \delta)}$$

Radiación solar difusa (cielo isotrópico).

Ecuación 12:

$$G_{d,T} = G_d \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + (G_b + G_d) \cdot \rho_g \cdot \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right)$$

2.3 Caracterización del Recurso Solar

2.3.1 Potencial energético

Desde el punto de vista energético, la masa solar que por segundo se irradia al espacio en forma de partículas de alta energía y de radiación electromagnética es aproximadamente de 5,6.1035 GeV y de ella, la Tierra recibe en el exterior de su atmósfera un total de 1,73.1014 kW, que analizando por m², a la superficie terrestre llega una irradiancia entre 900 a 1000/m².

La energía solar que llega a la tierra es diversa, por lo que, al querer estimar el potencial solar de una zona, es necesario conocer los diversos factores que intervienen en función de:

- La hora del día
- Época del año
- Latitud del lugar
- Orientación de la superficie receptora
- Situación atmosférica (nubes, nieblas, smog, viento, entre otras)

Disponibilidad de datos de la radiación solar

La energía solar disponible en un lugar no sólo significa caracterizar la irradiación total recibida, sino también, su distribución espectral, y su naturaleza (radiación directa o difusa).

Como primer punto referencial para conocer valores de radiación solar son las redes nacionales de meteorología, que mantienen un registro de las principales variables meteorológicas locales. En general, la irradiación solar global y la duración de la insolación se encuentran disponibles en sumas diarias o media mensual.

Existen países donde se ha establecido redes de medición automáticas principalmente de carácter meteorológico que dentro de su parámetro de medición permite registrar y cuantificar la radiación solar en diferentes escalas temporales, pero las inversiones y los costos de mantenimiento de cada sitio pueden ser elevados.

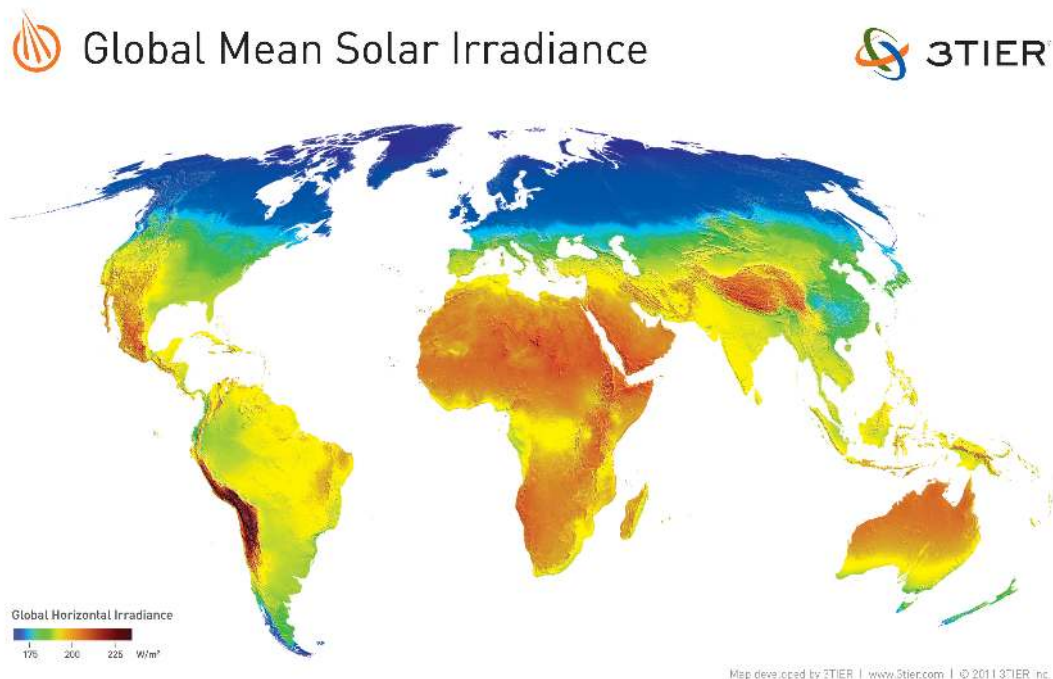
Actualmente, existen una amplia gama de softwares comerciales, bases internacionales con registros históricos e información satelital en diferentes resoluciones espaciales y temporales que abarcan desde a información básica de radiación hasta detalles en la distribución espectral.

Entre los Softwares comerciales existentes se encuentran : CENSOLAR, METEONORM, siendo los más utilizados.

Es importante también mencionar algunas páginas web que serán de utilidad para el estudiante con respecto a la búsqueda de la información, encontrándose en bases de datos internacionales y mapas de recurso solar :

- Surface meteorology and Solar Energy (NASA): <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi?>
- International Renewable Energy Agency (IRENA): <http://www.irena.org/globalatlas/>
- National Renewable Energy Laboratory (NREL): <http://www.nrel.gov/gis/mapsearch/>

Figura 2.5: Radiación Solar



En un país como Ecuador, la energía solar anual incidente, por m^2 , es aproximadamente de 3,78 a 4,11 kWh/ m^2 día, a partir del Proyecto OPET para América Latina y Caribe realizado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) en el 2005; se estima que las regiones Insular y Litoral presentan un valor medio anual de 4.5 kWh/ m^2 , el oriente con 3.8 kWh/ m^2 año y finalmente la región Interandina con 3.5 kWh/ m^2 año.

La radiación se distribuye en forma homogénea a lo largo del año por consiguiente sabiendo que en el Ecuador existe 11 horas de luz del día continuamente, podemos conocer la irradiación en W/m^2 que incide en una superficie, siendo a razón de 373.63 a 343.63 W/m^2 .

También a nivel nacional se cuenta con el atlas solar elaborado por el CONELEC, realizado a partir de datos de la NASA. http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf

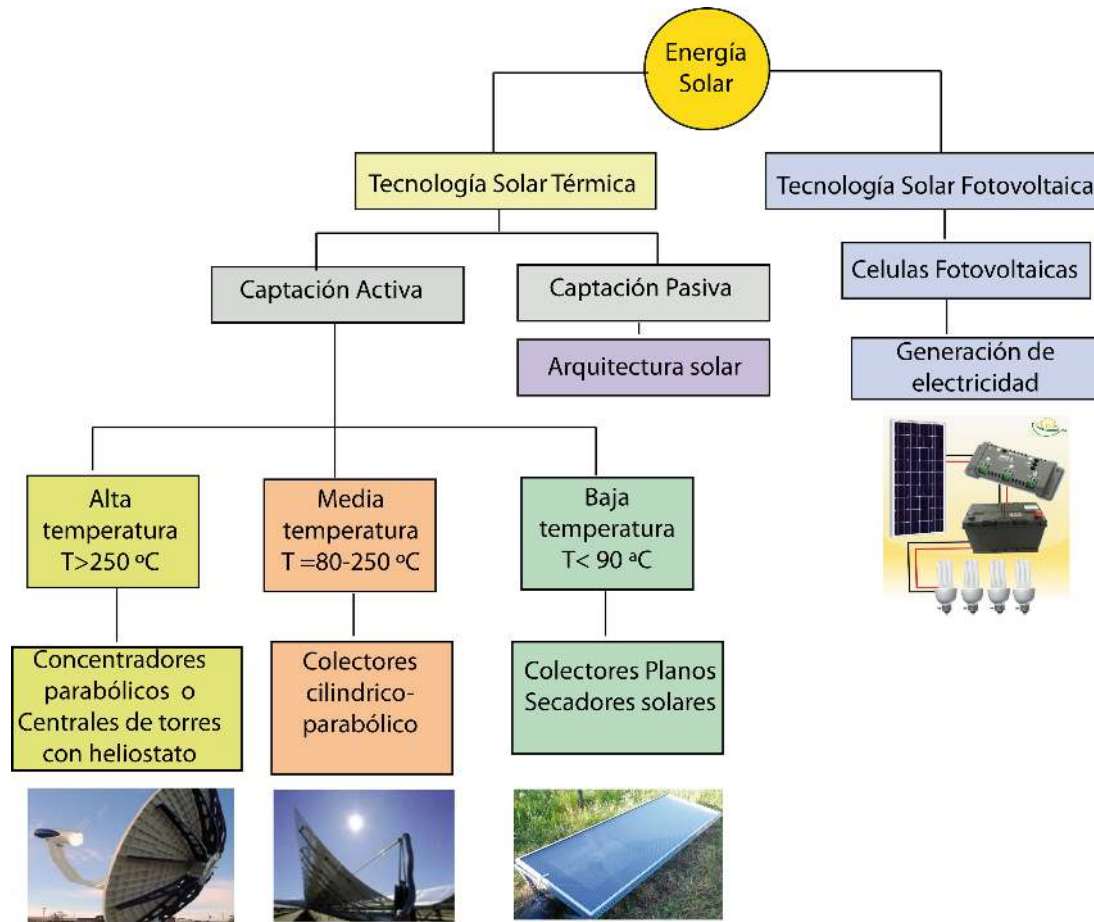
2.3.2 Tecnología para el aprovechamiento de la energía

Los procesos tecnológicos desarrollados por el hombre para el aprovechamiento de la energía solar directa y convertirla en una forma eficiente de energía se basan en mecanismos fototérmicos y fotoquímicos de conversión, de los cuales se destacan dos grandes grupos: térmicos y fotovoltaicos.

Tecnología de conversión térmica; Es el aprovechamiento de la energía solar mediante la conversión de la radiación solar (fotones) en calor, produciendo un aumento de temperatura (efecto foto-térmico) para que el calor pueda ser transferido, utilizado o transformarse en diversos modos.

Tecnología de la energía solar fotovoltaica ; Convierte directamente la luz del sol en electricidad, los fotones suficientemente energéticos con longitud de onda menor que un cierto umbral, se utilizan para hacer saltar un electrón desde la capa “p” a la capa “n” de un semiconductor, produciendo una diferencia de potencial o voltaje eléctrico.

Figura 2.6: Tecnología de aprovechamiento de la energía solar



Fuente : Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

2.3.3 Medidores de radiación solar

Actualmente existe un estándar internacional en los instrumentos de medición solar, clasificados o agrupados de la siguiente forma:

Piranómetro: Instrumento que mide la radiación global, directa y difusa (W/m^2) que se recibe en todas direcciones habitualmente sobre una superficie horizontal. Si el piranómetro se encuentra protegido de la radiación directa por un anillo protector desvanecedor, entonces mide sólo la radiación difusa.

La banda de frecuencias medida por el piranómetro está comprendida entre 0,3 μm y 3 μm .

Pirheliómetro: Este instrumento para medición de la radiación solar directa a incidencia normal. El pirheliómetro recibe energía sólo del disco solar y de un estrecho anillo de cielo contiguo, a través de un tubo largo; este aparato está dotado de un dispositivo automático de seguimiento del Sol. Una medida de interés a nivel climatológico es la heliofanía (también denominada horas de brillo solar o insolación) se define según Organización Mundial de Meteorología (OMM) como la suma de intervalos de tiempo (en horas) durante los cuales la radiación solar directa (normal al sol) supera el umbral de $120\text{ W}/\text{m}^2$. Esta medida puede ser empleada para estimar los promedios mensuales de irradiación solar global. Los instrumentos de medición son los Pirheliómetros y el más conocido es el heliógrafo de Campbell-Stokes.

Pirgeómetro: Es un instrumento para medición de la radiación atmosférica neta sobre una superficie negra horizontal orientada hacia arriba, a la temperatura del aire ambiente.

Pirradiómetro: Es un instrumento para medir la radiación solar y terrestre.

Adicionalmente, en ocasiones se utilizan las *Células calibradas*; son células fotovoltaicas que un laboratorio acreditado ha puesto a prueba, iluminándolas con luz artificial y estableciendo una relación proporcional entre la radiación recibida y la producción eléctrica. Son medidores de menor precisión con respecto a los otros antes indicados pero por su bajo coste, son ideales para comprobadores del buen funcionamiento de las instalaciones especialmente de fotovoltaica.

Figura 2.7: Medidores de radiación solar; a) Piranómetro , b) Pirheliógrafos , c) Medición de la difusa



a)



b)



c)

Fuente : CDTS-ESPOL ; MeteoGalicia

2.4 Aplicaciones de la Energía Solar Térmica

Energía Solar Térmica

La energía solar térmica es una fuente de energía renovable, inagotable, rentable y fácilmente aprovechable donde la radiación proveniente del sol se la puede convertir en calor, utilizándose para producir agua caliente, climatizar piscina, calefacción, secado de alimentos, cocinar alimentos, entre otras aplicaciones útiles que bien sirven para el ahorro de energías convencionales.

Dependiendo de su utilización la energía solar térmica puede ser pasiva o activa. Se considera *energía solar térmica pasiva*, aquella que se utiliza directamente mediante la incorporación de materiales transparentes y otros elementos arquitectónicos con elevada masa y capacidad de absorción de energía térmica.

La *energía solar térmica activa* consiste en el aprovechamiento de la radiación solar para convertirla en calor, calentando un fluido que circulan por el interior de captadores solares.

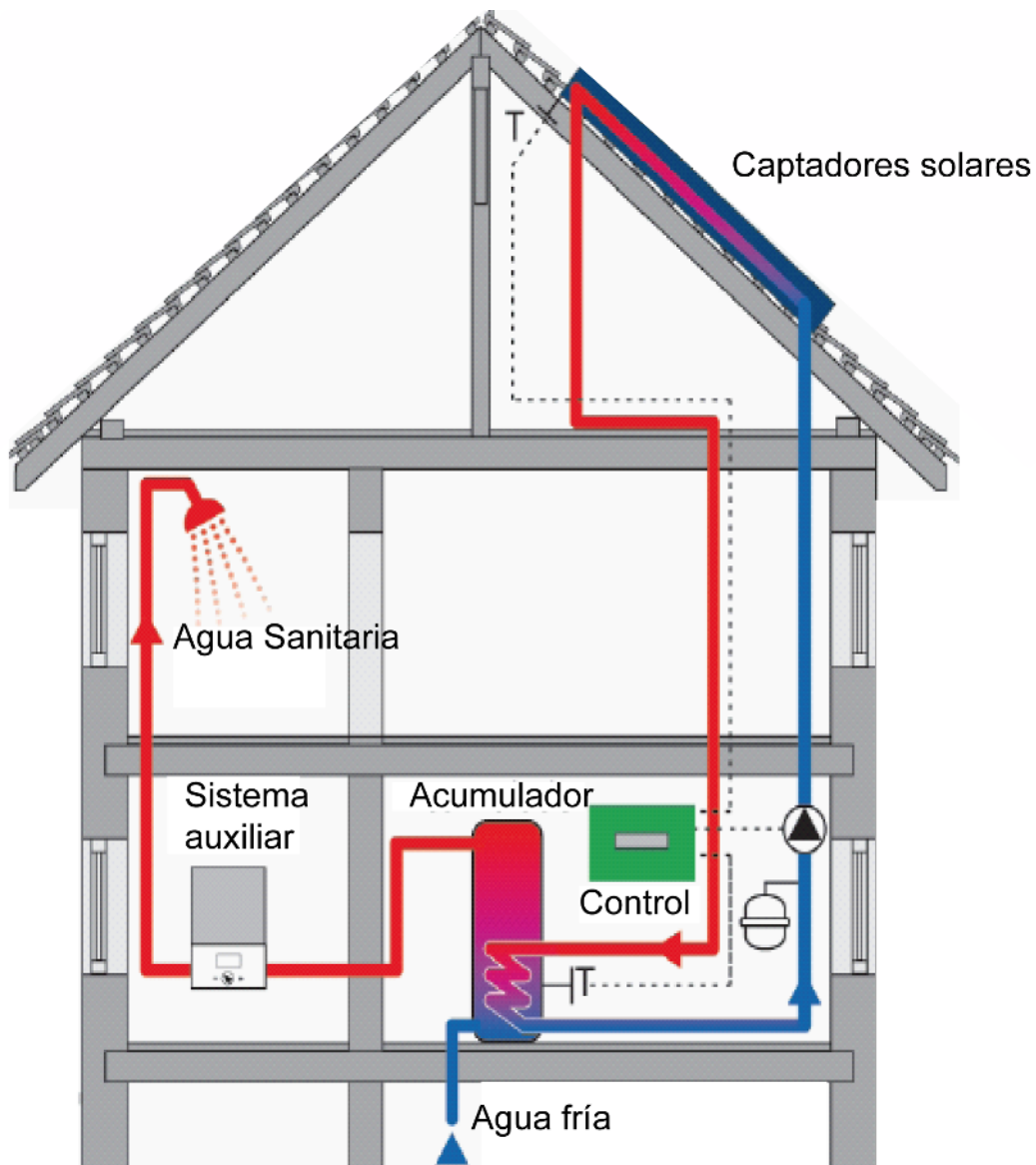
Las tecnologías solares térmicas son, actualmente, de las más competitivas económicamente entre las tecnologías de energías renovables. Esta competitividad crece en los países que lideran el mercado de las tecnologías solares debido, principalmente a un “factor de escala” que permite producciones en masa o en serie y con ello productos de alta calidad a menores precios.

Cuadro 2.2: Aplicaciones de la energía solar térmica

Tecnología solar	Producto energético	Aplicación
Solar térmica a media y alta temperatura	Calor, vapor, electricidad	Concentradores focos puntuales: Paraboloide de revolución, campo de heliostatos. Concentradores foco lineal: Canal parabólico, concentradores lineales de Fresnel
Solar térmica a baja temperatura	Calor, frío	Colectores solares comerciales (agua caliente sanitaria, climatización de piscinas, apoyo a sistemas de calefacción), cocinas solares, secadores solares, producción de frío.
Uso pasivo de la energía solar en edificios	Calor, frío, luz, ventilación	Demostración y aplicación en viviendas.

Para que este calor sea aprovechado continuamente, es necesario acumular esta energía para cuando se requiera su consumo, por lo que es preciso un *sistema solar térmico*; considerado como el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que permiten captar la energía solar disponible y transformarla en calor de forma que se pueda utilizar en diferentes necesidades.

Figura 2.8: Ejemplo de una instalación típica de vivienda con agua caliente sanitaria a partir del uso de tecnología solar



Fuente: CENSOLAR

2.4.1 Colector Solar I

Un colector solar es un intercambiador de calor que transforma radiación solar en energía calorífica. La irradiancia solar G , es aproximadamente de 1100 W/m^2 y varía ampliamente. Un colector puede utilizar líquido o gas para transferir el calor. Los líquidos más frecuentes son el agua, una disolución anticongelante o un aceite térmico. El gas que se suele utilizar como fluido térmico es el aire.



Los colectores solares se clasifican por su rango de temperatura siendo estos de baja (máximo 50°C), media (máximo 90°C) y alta temperatura (máximo 150°C).

Tipos de Colectores Solares

Los colectores solares se clasifican en dos grandes grupos:

- **Colectores Solares sin concentrador**, son aquellos considerados de baja temperatura alcanzando temperaturas menores de 70°C , por lo que son usados en las aplicaciones del sector residencial.

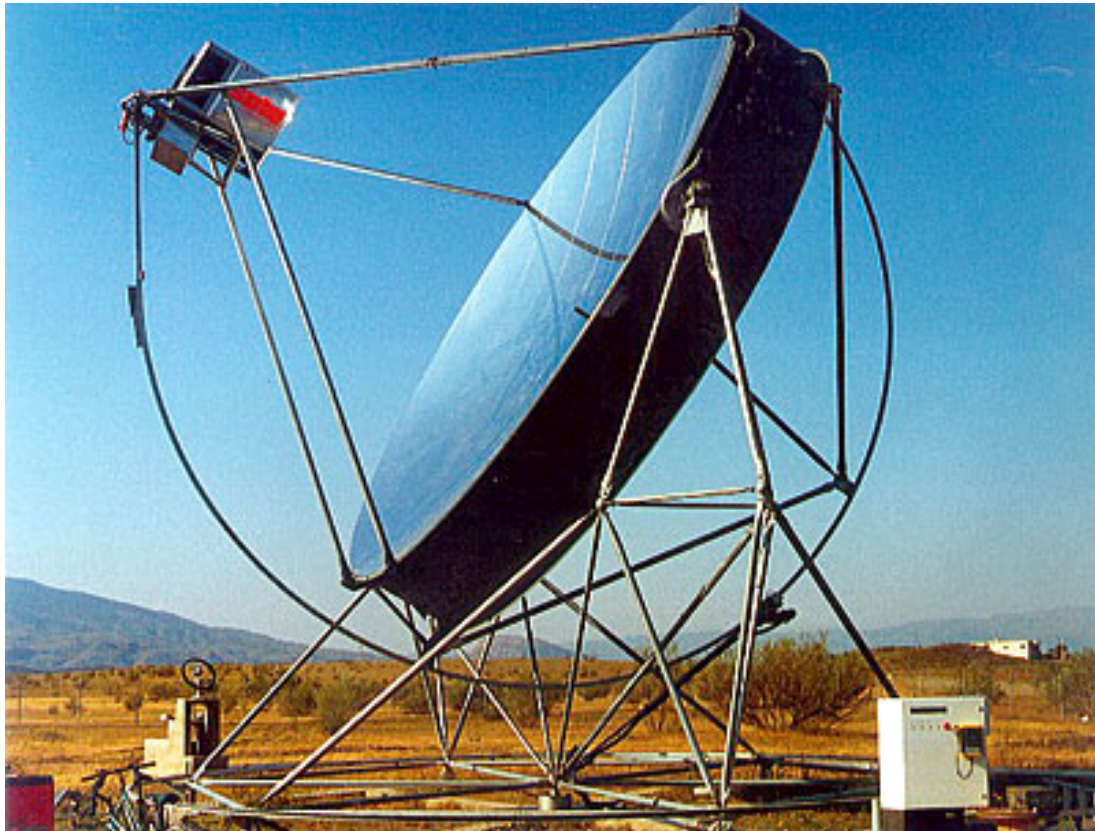
Figura 2.9: Colectores solares sin concentrador

Tecnología	Descripción	Aplicación	
Colector solar placa plana .	Estos colectores poseen una cubierta transparente de vidrio o plástico que aprovecha el efecto invernadero. calentando una Placa, donde la energía almacenada en la placa es transferida al fluido.	Producción de agua caliente sanitaria, climatización de piscina y calefacción.	
Colectores solares de caucho	Formado por una serie de tubos de caucho, los cuales expuestos al sol absorben la radiación solar y se la transmiten al fluido que atraviesa su interior.	Climatización de piscinas	
Colectores de aire	Son de tipo plano, utilizan como fluido caloportador el aire.	Calefacción	
Colectores de vacío	Son de doble cubierta envolvente, herméticamente cerrada, aislada del interior y del exterior, y en la cual se ha hecho el vacío.	Producción de agua caliente sanitaria y climatización de piscinas	
Tubos de calor	Tienen una simetría cilíndrica, formados por dos tubos concéntricos; uno exterior de vidrio y uno interior pintado de negro o con pintura selectiva	calefacción	

Fuente: Energía Térmica , Fundación CEDEET

- **Los Colectores Solares de Concentración:** utilizan métodos de concentración mediante óptica, alcanzan temperatura a más de 70°C . Estos se aplican en la energía solar térmica de media y alta temperatura. Ver Figura 2.10

Figura 2.10: Disco Parabólico



Fuente: <http://www.psa.es/webesp/instalaciones/discos.php>

2.4.1.1 Colector Placa plana (CPP)

Los colectores de placa plana (CPP), se diseñan para aplicaciones que requieren suministro de energía de temperatura moderada. Utilizando tanto la energía directa como difusa, generalmente no implementan seguimiento solar y requieren un mantenimiento muy bajo.

Su principal aplicación es para la obtención de agua caliente sanitaria ACS, debido que el consumo de agua caliente debe ser permanente, requiriendo temperaturas bajas (60 °C).

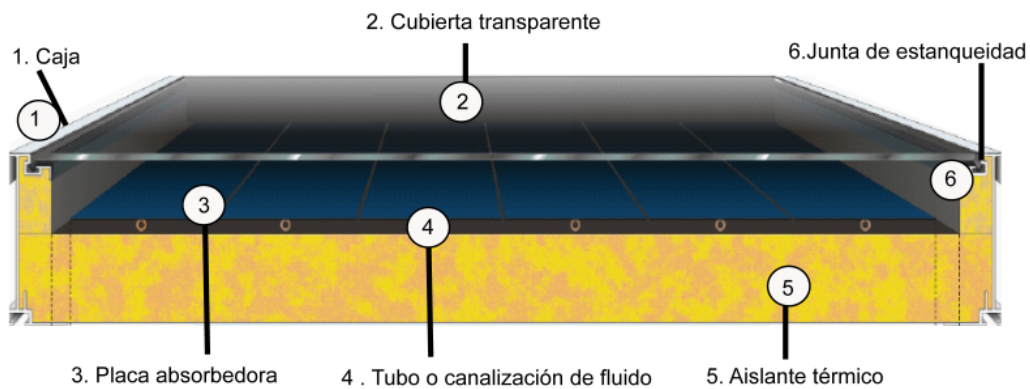
Entre otros usos se encuentran : Calefacción y calentamiento de piscinas pero esto es más problemática, ya que depende de la estación del año. Se han desarrollado maquinas frigoríficas con ciclo de absorción que permite, a partir de la energía solar, aire acondicionado.

Funcionamiento

Un colector plano seguirá el mismo principio del **efecto invernadero**, que consiste en captar la radiación directa como difusa en su interior, transformándola en energía térmica e impidiendo su salida al exterior. La radiación con longitud de onda corta ($0.2 - 3 \mu\text{m}$) atraviesa las cubiertas transparentes e incide sobre una plancha termo aislante denominada placa absorbe. El objetivo es transferir la energía absorbida a un fluido caloportador que se encuentra circulando (flujo forzado). La plancha negra, al calentarse, emite radiación de onda larga que no puede salir al exterior debido a que la cubierta transparente es opaca.

Los elementos accesorios están destinados a aumentar el rendimiento reduciendo las pérdidas caloríficas. Es decir, la placa absorbente se encuentra colocada en una base aislada que limita las pérdidas por conducción. Para reducir las pérdidas por convección y radiación se utiliza una cubierta transparente que puede ser sencilla o a veces doble o incluso múltiple.

Figura 2.11: Componentes de un colector solar



Fuente: CENSOLAR

1. Caja

Su principal función es de proteger y soportar todos los elementos que se encuentran formados en el captador.

2. Cubierta transparente

Los materiales normalmente utilizados son el vidrio y el plástico.

Al utilizar una cubierta de vidrio transparente, reduciríamos las pérdidas por convección sobre el absorbente, procurando el efecto invernadero. Se debe tener en consideración que el material sea bajo en sales de hierro para tener mejor coeficiente de transmisión de la radiación. Uno de los problemas del uso de este material es su fragilidad en romperse por los cambios bruscos de temperatura o por algún agente externo.

Muchos colectores fabricados industrialmente vienen con una cubierta de plásticos, entre ellos están los policarbonatos. Muchos plásticos sufren por el paso de tiempo deterioros, lo que provoca un descenso del rendimiento del colector. Considerando sus propiedades mecánicas, tiene mala conductividad térmica, alto coeficiente de dilatación, liviano, entre otras.

3. Placa Absorbedora

En muchos casos se trata de una plancha metálica de color negro que recibe la radiación solar, la transforma en calor y la transmite al fluido caloportador. Para captadores solares que no realizan efecto invernadero se utilizan absorbentes de plásticos.

4. Tubo o canalización del fluido

El sistema de canalización del fluido puede estar formado por una parrilla de tubos y dos colectores que constituyen los conductos de distribución o en su caso solamente compuesto por un tubo en forma de serpentín.

5. Aislante térmico

Entre el conjunto formado por el absorbente, el conducto del fluido y la carcasa del colector, se dispondrá una **plancha termo-aislante** que minimice las pérdidas térmicas en su parte posterior. Los aislantes más comunes son los de fibra de vidrio.

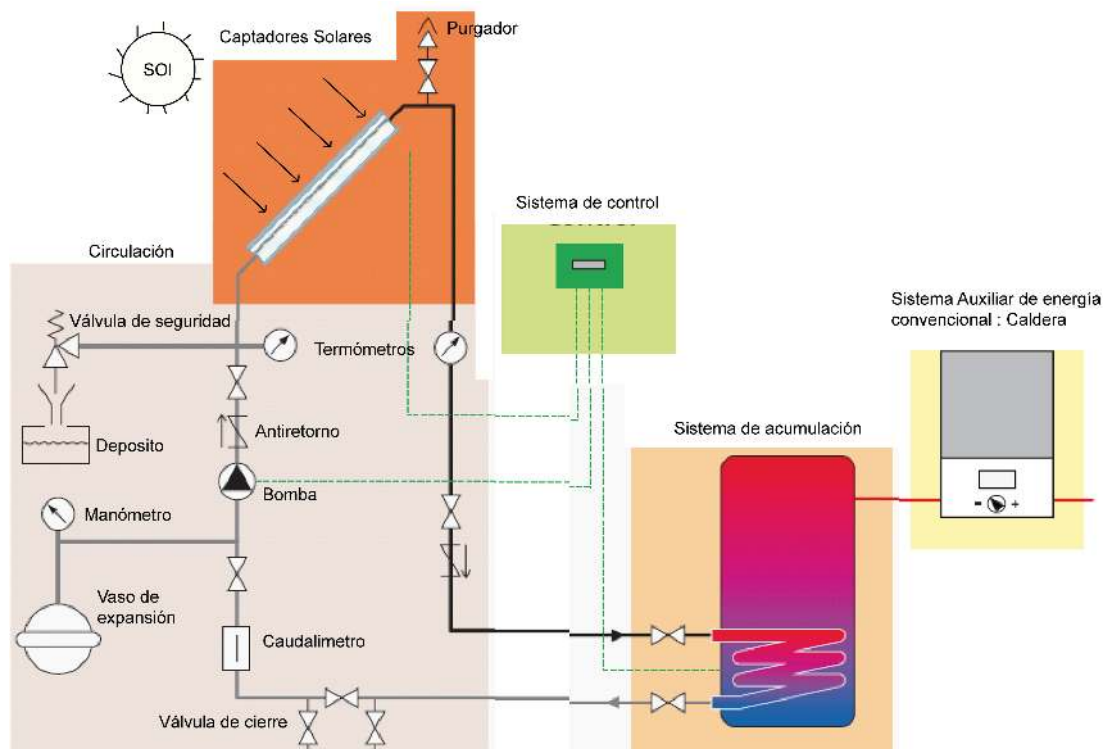
Tal como se ha indicado al inicio de esta sección es necesario acumular la energía para cuando se requiera su consumo, por lo tanto a continuación se indica los elementos que componen un sistema solar térmico:

Cuadro 2.3: Descripción de los elementos que componen un sistema solar térmico

Sistema de Captación	Encargado de captar y convertir la radiación solar en energía térmica aumentando la temperatura del fluido de trabajo.
Intercambiador de calor	Permite transferir el calor del fluido de trabajo que circula por un circuito primario al agua que hay en el circuito secundario.
Sistema de acumulación	Almacena la energía térmica producida en forma de agua para poder utilizarla en periodos en los que la demanda excede la capacidad de producción.
Sistema de control	Encargado del correcto funcionamiento de la instalación dado las ordenes necesarias a las bombas y válvulas para que funcione correctamente la circulación del fluido caloportados alcanzando las temperaturas deseadas.
Sistema hidráulico	Permite la circulación del fluido por los distintos circuitos de la instalación.
Sistema de energía convencional	El Sistema solar va a permitir sustituir una parte de la energía convencional consumida por la instalación, pero no toda.

Fuente: Javier Méndez, ECA, Instituto de Tecnología y formación.

Figura 2.12: Componentes de un sistema solar térmico



Fuente: CDTS-ESPOL, CENSOLAR

Balance energético del colector solar

El rendimiento de un colector solar, viene descrito por un balance de flujos de calor que refleja la distribución de energía incidente en ganancia energética y pérdida.

La ganancia energética o calor útil es el balance de flujo de calor que refleja la distribución de energía solar incidente, relacionada con el área del colector (A_c), un factor de ganancia

(FR), radiación solar adsorbida por unidad de área de la placa absorbadora (S). Por otro lado, encontramos las pérdidas térmicas hacia el exterior, producto de la conducción, convección y radiación, que son parametrizadas mediante el coeficiente efectivo de transferencia térmica o coeficiente de pérdida global U_L . Además de la diferencia de temperaturas de entradas del fluido y temperatura ambiente, la cual está definida como:

$$Q_u = A_c \cdot F_R \cdot [S - U_L \cdot (T_{f,e} - T_a)]$$

Si no colocáramos el factor FR, en la ecuación anterior, esta se encontraría en termino de la temperatura media de la placa $T_{p,m}$ y la temperatura ambiental T_a .

$$Q_u = A_c \cdot [S - U_L \cdot (T_{p,m} - T_a)],$$

Llegando a ser una ecuación casi ineficaz debido a que, la temperatura media de la placa es una magnitud difícil de medir, ya que las partes del colector se encuentran a distintas temperaturas. Para ello se mide la temperatura a la entrada y a la salida calculando un valor promedio. Al hacer esto, es necesario añadir este coeficiente FR que corrige esta diferencia de temperatura.

La ganancia también puede ser expresada con respecto al flujo interno del fluido que consiste en medir el incremento de temperatura del fluido caloportador. $T_{f,e}$, representa la temperatura de entrada y $T_{f,s}$, es la temperatura de salida del fluido. \dot{m} , representa el flujo másico del fluido (kg/s), c_p es el calor específico en (kcal/kg °K o kJ/ kg °K).

$$Q_u = \dot{m} c_p \cdot (T_{f,s} - T_{f,e})$$

FR, es el análogo de la eficiencia de un intercambiador de calor convencional, definido como el cociente entre la transferencia real y la máxima transferencia posible.

$$F_R = \frac{\dot{m}(T_{f,s} - T_{f,e})}{A_c(S - U_L(T_{f,e} - T_a))} = \frac{S - U_L(T_{p,m} - T_a)}{S - U_L(T_{f,e} - T_a)}$$

La radiación solar adsorbida S, se encuentra dada por el factor de transmitancia – absorbancia efectivo ($\tau \times \alpha$) y la intensidad de la radiación denominada la irradiancia solar total G_T .

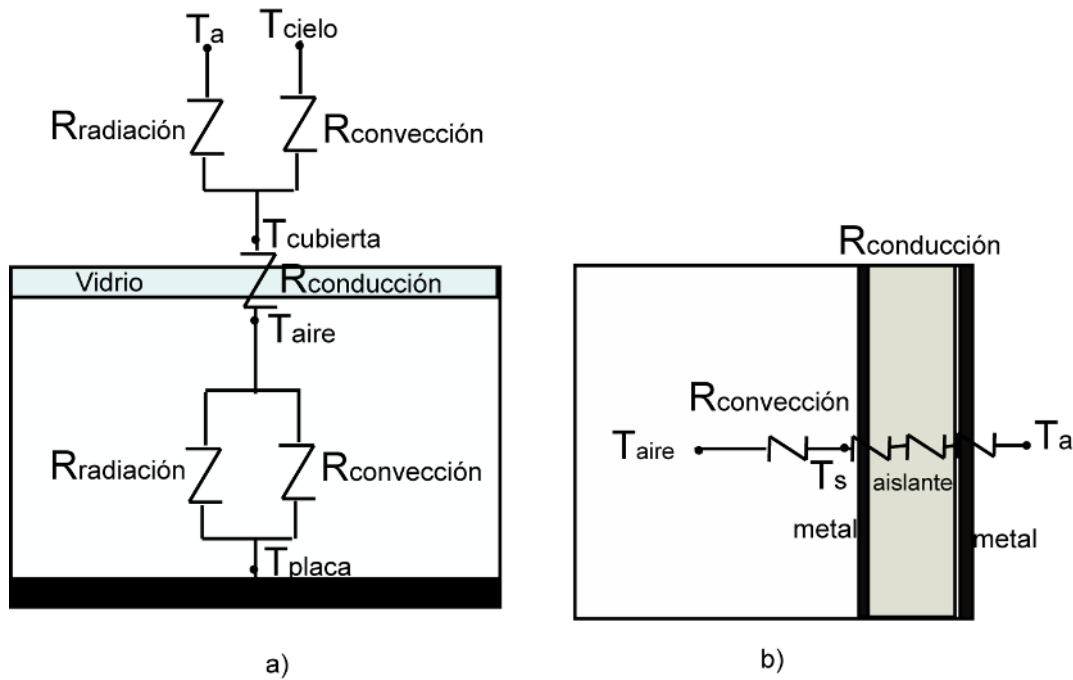
$$S = (\tau \alpha) G_T$$

Para el análisis teórico del colector el Coeficiente de pérdidas caloríficas o coeficiente global U_L , se determina a través de las pérdidas superior a través de la cubierta U_t , pérdidas por la base o soporte U_b y el coeficiente de pérdidas por los bordes U_e .

$$U_L = U_t + U_b + U_e$$

Aplicando las ecuaciones de transferencia de calor, podemos determinar las pérdidas por resistencia térmicas del sistema completo, es decir, habrá pérdidas de radiación, convección y conducción desde el cielo hasta la superficie de la placa.

Figura 2.13: Esquema de resistencias térmicas (conducción, convección, radiación) en el colector. a. Pérdidas dentro de la cámara, vidrios y exterior. b. Pérdidas por paredes.



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

Resistencia térmica de conducción : $h_t = k / L$, donde k es el valor de la conductividad, L es el espesor.

Resistencia térmica convección $h_c = k \text{ Nu} / L$, se encuentra en termino del número de Nusselt (Nu) y este a su vez dependerán del número de Reynolds (Re) y Prandtl (Pr), para esto es necesario conocer si la convección se trata de un flujo forzado o de un flujo laminar.

Para un Colector plano, la ausencia de viento, es razonable un coeficiente de convección libre exterior no menor al $5 \text{ W/m}^2\text{°C}$. Cuando hay viento el coeficiente de transferencia aumenta linealmente para valores pequeños.

$H_c \text{ viento} = a + bV$, Siendo V la velocidad de viento (m/s) , donde a y b son coeficientes que dependen del caso . Para una placa plana con área de 0.5 m^2 , $a = 2.8$ y $b=3$. , para areas mayores las variables son aproximadamente $a= 5.7$ y $b = 3.8$.

Para un colector tubular, el flujo de aire perpendicular a un tubo exterior el número de Nusselt (Nu) se encuentra dado por:

$$\begin{aligned} \text{Nu} &= 0.4 + 0.54 \text{ Re}^{0.52} \text{ para } 0.1 < \text{Re} < 1000 && \text{Si se trata de un flujo laminar} \\ \text{Nu} &= 0.3 \text{ Re}^{0.6} \text{ para } 1000 < \text{Re} < 50000 && \text{Si se trata de un flujo turbulento} \end{aligned}$$

Resistencia térmica por radiación:

$$h_r = \varepsilon \sigma (T_2^2 + T_1^2) (T_2 + T_1)$$

Donde, el sigma es la constante de Stefan Boltzman.

Si la radiación se da a través de dos placas paralelas se aplica que :

$$h_r = \frac{\sigma (T_2^2 + T_1^2) (T_2 + T_1)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

Siendo, ε la emitancia del vidrio.

La temperatura del cielo se determina aplicando la siguiente expresión, $T_{\text{cielo}} = 0,0552 T_a^{1.5}$

Una vez definido U_t , podemos determinar las pérdidas de flujo de calor, siendo :

$$\dot{Q}_{\text{perd}} = A_c U_t (T_{p,m} - T_a)$$

Las pérdidas por radiación se generan en la cubierta transparente (vidrio e opaco a los infrarrojos) y en la placa de absorción (plancha negra).

Las pérdidas por conducción, se dan por las paredes y superficie del colector

Las pérdidas por convección, son las pérdidas producidas en la cubierta transparente y paredes.

Una manera empírica que determina el factor de pérdida U_t , se obtiene utilizando la expresión empírica desarrollada por Klein que intervienen factores como:

N ; número de cubiertas

B ; inclinación del panel

$\varepsilon_p, \varepsilon_c$; emitancias (0.88 para el cristal , 0.63 para plástico , 0.95 placa negra).

T_a ; temperatura ambiente

$T_{p,m}$; temperatura media de la placa

$h_{c,v}$; coeficiente de calor convectivo del exterior

e ; $0.430 (1 - 100 / T_{p,m})$

f ; $(1 + 0.089 h_{c,ext} - 0.1166 h_{c,ext} * \varepsilon_p) (1 + 0.07866 N)$

Con ayuda de la ecuación de Klein se procede al método de interacción para calcular la temperatura media de la placa, la temperatura de la cubierta y la temperatura media del fluido.

$$U_t = \left[\frac{N}{\frac{C(\beta)}{T_{p,m}} \cdot \left(\frac{T_{p,m} - T_a}{N + f} \right)^{\varepsilon} + h_{c,ext}} \right]^{-1} + \frac{\sigma \cdot (T_{p,m} + T_a) \cdot (T_{p,m}^2 + T_a^2)}{(\varepsilon_p + 0.00591N \cdot h_{c,ext})^{-1} + \frac{2N + f - 1 + 0.133 \cdot \varepsilon_p - N}{\varepsilon_c}}$$

Los valores típicos que determinan el factor de eficiencia del colector FR, en el caso de un colector de placa plana, son:

Uc (2 cubiertas de vidrio).....	= 4 W/m ² °C
Uc (1 cubierta de vidrio)	= 8 W/m ² °C
k (Placa de cobre de 1 mm de espesor).....	= 0,4 W/°C
k (Placa de acero de 1 mm de espesor).....	= 0,005 W/°C
hcF (Agua en flujo laminar, convección forzada).....	= 300 W/m ² °C
hcF (Agua en flujo turbulento, convección forzada).....	= 1500 W/m ² °C
hcF (Aire en convección forzada turbulenta).....	= 100 W/m ² °C

2.4.2 Colector solar II

2.4.2.1 Rendimiento de un colector solar

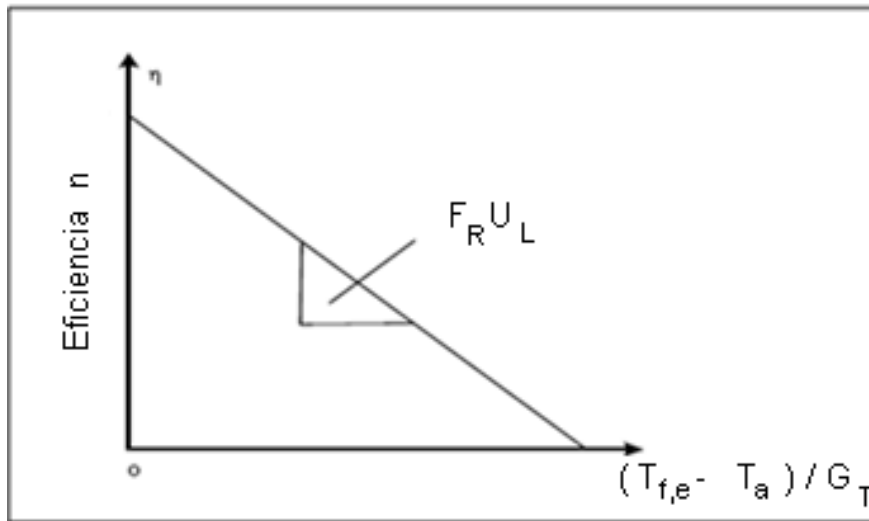
El rendimiento de un colector esta dado por la ganancia sobre la intensidad de la radiación incidente durante un cierto periodo de tiempo y por unidad de superficie efectiva del colector.

$$\eta = \frac{\text{calor aprovechado}}{\text{Calor solar}} = \frac{Q_u}{G_T A_c} = F_R \cdot (\alpha) - F_R \cdot U_L \cdot \frac{(T_{f\theta} - T_a)}{G_T}$$

Con el balance energético se puede representar el comportamiento del captador en función del rendimiento y las variables.

$$(T_{f\theta} - T_a)/G_T \cdot$$

Figura 2.14: Curva Lineal característica del Rendimiento de un colector



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

Como se puede observar cumple el comportamiento tipo de una recta, por lo que la ecuación caracteriza será:

$$\eta = a - b \frac{(T_{f,e} - T_a)}{G_T} \quad \text{Donde } a = F_R \cdot (\alpha_s) \text{ y } b = F_R \cdot U_L$$

Los valores típicos para los colectores placa plana son:

Captador sin caja, sin aislamiento y sin cubiertas, generalmente de plástico

$$0,85 < F_R \text{ Is } \alpha_s < 0,90 ; 16 < F_R U_C < 20 , (W/^{\circ}C \text{ cm}^2)$$

Captadores con caja, aislamiento y una cubierta transparente

$$0,75 < F_R \text{ Is } \alpha_s < 0,85 ; 7 < F_R U_C < 9 , (W/^{\circ}C \text{ cm}^2)$$

Captadores con caja, aislamiento, una cubierta transparente y superficie absorbente selectiva

$$0,75 < F_R \text{ Is } \alpha_s < 0,85 ; 5 < F_R U_C < 6 , (W/^{\circ}C \text{ cm}^2)$$

Captadores con caja, aislamiento y dos cubiertas transparentes

$$0,7 < F_R \text{ Is } \alpha_s < 0,8 ; 4 < F_R U_C < 6 , (W/^{\circ}C \text{ cm}^2)$$

Cubiertas transparentes

Para mejorar la eficiencia del captador es mejor utilizar una cubierta transparente a la radiación solar, pero opaca a la radiación infrarroja, además con bajo contenido de sales de hierro.

El proceso de absorción por parte de la placa debe tener en cuenta la radiación que se refleja y vuelve a rebotar en la cubierta, para absorciones altas para una placa absorbente alfa ≈ 0.9 . Para determinar la cantidad solar absorbida por unidad de área de la placa (S) se debe conocer la energía que incide sobre la cubierta transparente, por absorción, reflexión y transmisión de la radiación. Para ello se determina el ángulo θ_2 que está relacionado con el índice de refracción por la ley de Snell.

Ley de Snell :

$$n_1 \text{sen } \theta_1 = n_2 \text{sen } \theta_2$$

A través de la ecuación de Fresnel se determina la reflexión de la radiación no polarizada.

$$\rho = \frac{1}{2} \left[\frac{\text{sen}^2 (\theta_2 - \theta_1)}{\text{sen}^2 (\theta_2 + \theta_1)} + \frac{\text{tan}^2 (\theta_2 - \theta_1)}{\text{tan}^2 (\theta_2 + \theta_1)} \right]$$

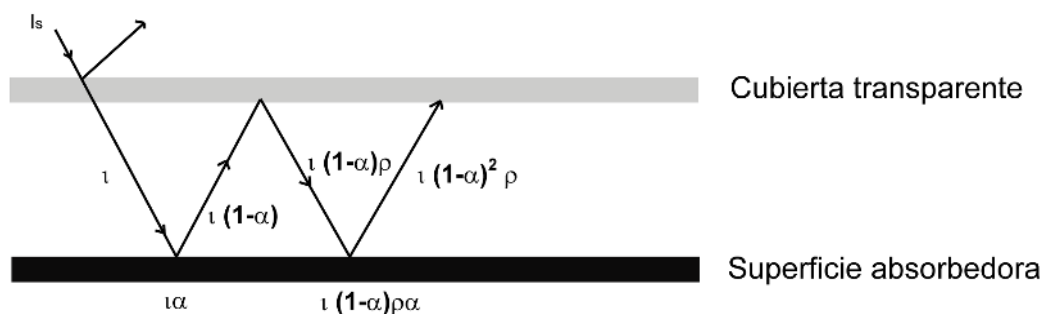
La transmitancia se obtiene empleando la siguiente ecuación;

$$\tau = \frac{1 - \rho}{1 + (2n - 1)\rho} * e^{-NKL/\cos\theta_2}$$

La radiación que pasa a través de la cubierta y que llega al absorbente, alguna se refleja hacia la cubierta, sin embargo no toda esta radiación se pierde, ya que una parte se refleja de nuevo hacia el adsorbedor, por lo tanto la energía incidente (t x alfa) es la reflexión múltiple de la radiación difusa continua y la energía total absorbida por la placa absorbente.

$$(\tau\alpha) = \frac{\tau\alpha}{1 - (1 - \alpha)\rho_d}$$

Figura 2.15: Flujo de la energía radiante que incide sobre un colector solar



Fuente: Duffie J.A.; CDTS-ESPOL

2.4.2.2 Captadores de tubo al vacío

Esta tecnología se aplica especialmente para procesos industriales donde se necesita que la energía sea liberada a media y altas temperaturas. Esto no se puede lograr con los colectores solares planos como los colectores de vacío que suelen emplear una superficie de captación formada por una serie de tubos con aletas, recubiertos de una superficie selectiva y circulando el fluido calo portador en su interior. Estos tipos de colectores tienen un buen rendimiento por lo que puede compensar su costo debido a su utilización.

Cuadro 2.4: Comparación de parámetros característicos de los tipos de colectores: Eficiencia óptima (h_o) y coeficiente general de pérdidas (UL)

COLECTORES	RANGO T (°C)	h_o	UL (W/ m ² °C)
Sin cubierta	10-40	0.9	15-25
Cubierta simple	10-60	0.8	7
Cubierta doble	10-80	0.65	5
Superficie selectiva	10-80	0.8	5
Tubos de vacío	10-130	0.7	2

Fuente: CENSOLAR

Al reducir el coeficiente UL (Se retira el aire que se encuentra entre el absorbedor y la cubierta, para eliminar la pérdida de calor por conducción y convección, quedando únicamente las pérdidas por radiación), se puede obtener una temperatura de fluido más alta, alrededor de 100°C.

En estos colectores la cubierta será un tubo de vidrio (a veces doble) en el que se ha hecho al vacío. El absorbedor es un tubo que se prolonga a lo largo del eje del tubo de vacío, transportando el fluido caloportador.

Una de las desventajas de este sistema es el mantenimiento, que al perder el vacío también va perdiendo el revestimiento aislante, alcanza un valor de UL superior.

Existen dos tipos de colectores tubulares de vacío, según sea el método de empleo para el intercambiador de calor.

Intercambio directo: Consiste de un tubo de vidrio al que se le ha hecho el vacío, e internamente se encuentra un tubo de cobre por donde circula el fluido caloportador. El fluido del circuito primario es el mismo que circula por dentro de cada absorbedor. La disposición puede ser en serie o en paralelo. Cada tubo del sistema es dependiente del otro, si en caso uno falla (pierde el vacío) conduce al enfriamiento del fluido del circuito primario.

Intercambio mediante tubos de calor (heat pipe). Consiste de un tubo hueco cerrado por los extremos, cada colector es un circuito cerrado por el que circula un fluido vaporizante como el agua que en ciertos casos es mezclada con algún tipo de alcohol. La radiación solar que incide en el colector calienta el tubo produciendo que el fluido en su interior se evapore y ascienda hasta un bulbo de contacto con el fluido del circuito primario que al estar frío el vapor se condensa descendiendo nuevamente por el tubo del absorbedor para calentarse de nuevo. El fluido del circuito primario no se mezcla con el tubo de calor. Cada tubo del sistema es independiente del otro, si en caso un tubo falla, no influirá al conjunto en general.

Figura 2.16: Captadores de tubo al vacío . a) Intercambio directo. b) Tubo de calor heat pipe



Fuente: Plataforma Solar Almería , CDTS-ESPOL ; SUNDA

2.4.2.3 Conexión entre colectores

La instalación solar está constituida por un conjunto de colectores solares conectados de tal manera que el caudal que circula por todos los colectores debe ser el mismo, para que trabajen con un rendimiento similar, evitando de esta manera pérdidas en el sistema.

Los captadores se pueden conectar en serie, paralelo o mixto, dependiendo del espacio en donde serán colocado el sistema y las limitaciones que marca el fabricante por lo que siempre es necesario analizar estas configuraciones para llegar a la energía deseada.

Para una conexión correcta la entrada del fluido del captador debe estar en la parte inferior de este, y la salida del fluido será por la parte superior, siempre opuesta a la entrada, además de instalar válvulas de seguridad.

- **Conexión en serie**

Se conecta los colectores en serie solo cuando se requiere conseguir altas temperaturas, pasando el fluido de un colector a otro siempre, sumando así los saltos térmicos.

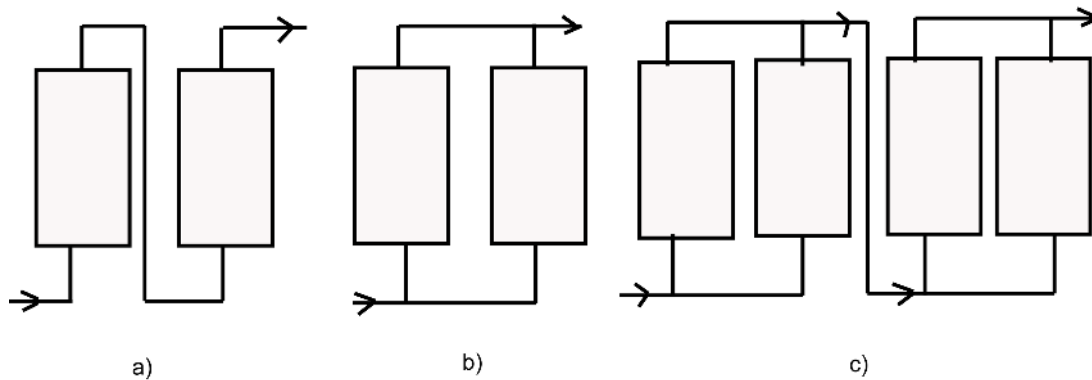
- **Conexión en paralelo.**

Son las conexiones más habituales para obtener bajas temperaturas, formando fila con el mismo número de captadores. El caudal total es la suma de los caudales de los distintos módulos.

- **Conexión mista serie-paralelo.**

Este tipo de instalación se realiza en grandes superficies de captación en la que es necesario temperaturas altas.

Figura 2.17: Configuración de las instalaciones. a) serie . b) paralelo c) mixta



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

2.4.3 Destilador solar

La alternativa solar se basa en calentar el agua salobre, condensar el vapor sobre una superficie fría y se recoge el condensado. Este proceso quita las sales, elimina residuos de hongos, bacterias, virus y demás contaminantes, obteniendo agua apta para consumo humano.

Los destiladores solares no son adecuados para purificar aguas negras ni residuos industriales.

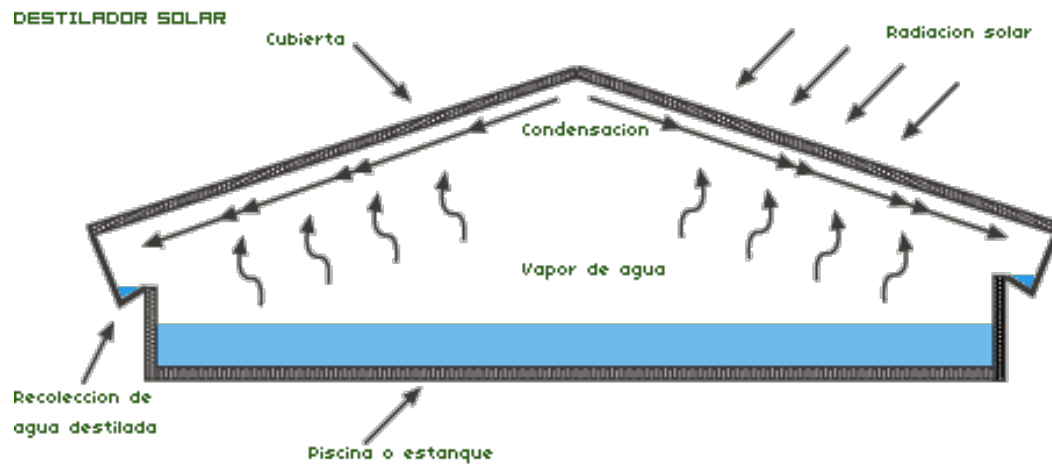
Las dos partes fundamentales que componen el diseño básico de un destilador solar son la piscina o estanque y la cubierta.

Los destiladores se pueden clasificar en:

- **Destilador solar térmico directo:** El destilado se realiza directamente en el colector solar, es un solo complemento.
- **Destilador solar térmica indirecta:** Compuesto por dos subsistemas, uno para la captación solar de energía, y otro para efectuar la desalación.

Un ejemplo simple en la construcción de este sistema, es colocando una cubierta transparente encima de una piscina somera de agua salada (base de hormigón formado por canales poco profundo. El efecto se da cuando el sol incide sobre las cubierta inclinada que por efecto invernadero el agua salobre se calienta evaporando en parte, la cubierta al encontrarse en contacto con el aire frío el vapor se condensa sobre su cara interior, debido a la inclinación del vidrio el agua líquida cae y gotea sobre los canales de drenaje de agua destilada.

Figura 2.18: Ejemplo típico de un destilador solar



2.4.4 Cocina Solar

El propósito básico de una cocina solar es calentar cosas, cocinar comidas, purificar el agua y esterilizar instrumentos, entre otros. Una de las desventajas de las cocinas solares es la dependencia de las condiciones climáticas.

Los diseños de cocinas solares pueden clasificarse en función de la incorporación de elementos de concentración solar ; tipo caja (utiliza efecto invernadero) , cocinas de paneles y cocinas parabólicas (incorporan elementos de concentración)

La cocina solar tipo caja o horno solar:

Es una caja bien aislada donde solo ingresa la radiación solar por una cubierta transparente (parte superior), en el interior de la cocina se encuentra una plancha negra que absorbe la energía solar y la transfiere en forma de calor. El efecto de la cocina solar tipo horno es el resultado del calor en espacio cerrados en que el sol incide fácilmente a través del cristal y es absorbida y reflejada por los materiales utilizados , La energía de la luz que es absorbida por el cuerpo negro se convierte en energía calorífica que tiene una mayor longitud de onda debido en que la energía que viene del sol son microondas que están en longitudes entre 0.3 y 2.5 micrones, e irradia desde el interior de los materiales, permitiendo que la mayor parte de la energía radiante no pueda atravesar el cristal y por consiguiente es atrapada en el interior del espacio cerrado.

El calor que se genera se transfiere parte al tiesto de la comida y en parte se emite como energía infrarroja con longitudes de ondas que van de los 3 a los 80 micrones, esto servirá para calentar el aire dentro de la cocina, y una parte mínima de este calor se pierde hacia el exterior. La temperatura que puede alcanzar una cocina solar de caja es de 150 °C.

El balance energético de estos tipos de cocina , es similar a la de un colector plano de cubiertas transparentes (Ver seccion 2.4.1 Colectores solares)

Figura 2.19: Cocina tipo horno



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

Cocina de panel :

La cocina es formada por varios paneles planos que concentran los rayos del sol sobre un recipiente dentro de una bolsa de plástico o debajo de un bol. La ventaja de este diseño es que puede ser montado en una hora, con bajo costo. La temperatura que puede alcanzar una cocina solar de panel es de 90-110 °C .

Figura 2.20: Cocina solar tipo panel



Fuente: <http://solarcooking.org/espanol/DSPC-Cooker-span.htm>

Cocinas Parabólicas:

Se encuentra formado por un disco cóncavo que concentra los rayos del sol sobre el recipiente (olla) . Una ventaja de la cocina es su rápida cocción de los alimentos, y como desventaja se da por su geometría por lo que son complicadas de elaborar, además , deben estar siempre mirando el sol.

Figura 2.21: Cocina solar parabólica



Fuente: Tecnorenovables

2.4.5 Secador Solar

El secado es uno de los métodos más antiguos utilizados por los productores agrícolas con el fin de deshidratar el producto, permitiendo su conservación por un tiempo más prolongado.

Generalmente, el sistema de secado solar consiste de una cámara aislada del exterior, en cuyo interior se encuentran bandejas con producto húmedo; internamente se hace circular aire caliente entre las bandejas para extraer el agua evaporada del producto, esta circulación puede darse de manera natural o forzada. Entre los elementos básicos que forman un secador solar se encuentra el colector y la cámara de secado. Cuanto más seco y más caliente esté el aire, mayor será la velocidad de secado. El objetivo del procesos de secado es reducir el contenido de humedad del producto, el valor de la humedad suele expresarse como el cociente entre el peso del agua y el peso total.

Los secadores solares simples utilizados en zonas rurales se encuentra contruidos de materiales transparentes (plástico), siendo más fácil que la radiación ingrese a través de las paredes del material transparente, calentando el volumen de aire y la plancha absolvedora que se encuentra en el interior de la cámara de secado. El aire caliente que ingresa a la camara proviene del colector solar plano (aire por circulación de convección natural) aportando calor adicional al secado.

Desde el punto de vista artesanal, un secador renovable permitirá un mejor control y calidad del producto evitando el secado en tendales donde el producto se encuentra expuesto a la contaminación de la zona, así como la putrefacción y pérdida. Desde el punto de vista semi-industrial un secadero renovable reducirá las emisiones de monóxido de carbono generada por el uso de fuentes de energías tradicionales.

Actualmente existe diversos modelos de secaderos solares, siendo los más característicos los sistemas de: gabinete directo, tienda, túnel, arcón además de sistemas híbridos que utilizan simultáneamente fuentes de energías alternativas como convencional.

Secadores solares indirectos.

La cámara y el colector solar se encuentran separados. El aire es calentado en el colector y llevado a la cámara de secado donde esta no permite la entrada de radiación sobre el producto, en muchos secaderos rurales la cámara se encuentra recubierta internamente con una plástico negro

que permitirá un mejor efecto invernadero. Este sistema permite secar en forma conveniente productos que se puedan dañar o perder calidad de aspecto por una exposición directa al sol.

Secador solar directo:

La cámara que contiene el producto también cumple la función de colector solar recibiendo la radiación solar directa. En ciertos casos es muy ventajosa por su bajo costo, pero por otro lado al no tener un mejor control del producto puede perder la calidad del mismo.

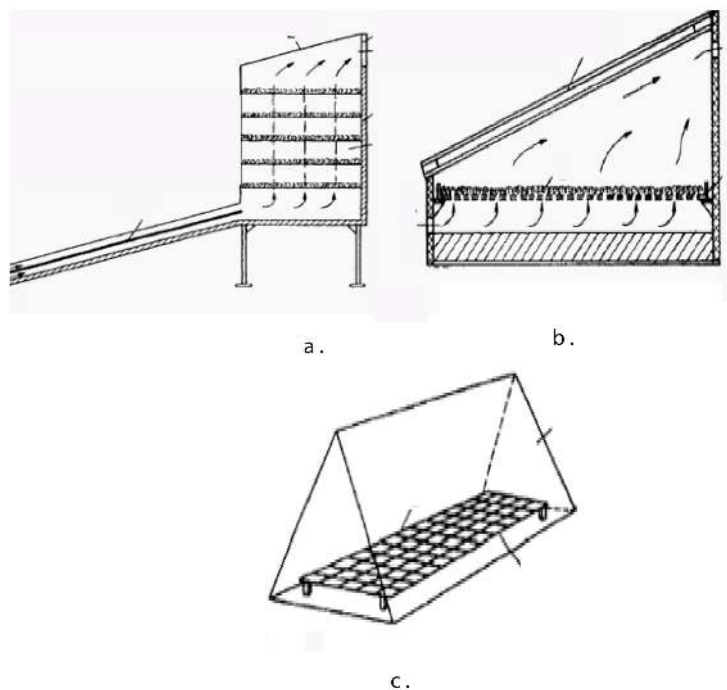
Secador solar mixto:

La radiación solar incidente ingresa tanto en el colector solar como en la cámara de secado.

Es necesario tener en cuenta que el aire que circula dentro del secador para eliminar la humedad del producto sea el adecuado, Esta circulación se logra por dos métodos: circulación convección natural o circulación forzada.

El primer método consiste en mover el aire por diferencias de temperatura entre las distintas partes del equipo, que promueven la convección térmica del mismo. Por lo que no necesita de una energía externa. El segundo método, el aire es movido por un ventilador que consume energía mecánica o eléctrica.

Figura 2.22: Modelo de secadores solares : a. Gabinete indirecto , b. Gabinete directo c. Tienda



Previo al diseño de los secaderos solares se debe considerar parámetros significativos que influyen en el funcionamiento como lo son:

- Característica del aire de secado: temperatura, humedad, caudal másico.
- Propiedad del producto a secar
- Característica física del secadero: tipo, forma, tamaño, dimensionamiento
- Variables sobre el funcionamiento térmico: tiempo y ratio de secado, temperatura y humedad relativa del aire, flujo másico del aire,
- Eficiencia del secador.
- Costo de inversión y operación

- Manipulación y fácil construcción
- Condiciones meteorológicas del entorno.
- Recursos energéticos renovables a disposición

Uno de los parámetros representativos es la velocidad de aire adecuada, que típicamente oscila entre valores de 0.5 a 3 m/s dependiendo del material a secar y la longitud del secadero. Para sistema con circulación por convección natural se encuentran entre 0.3 – 1 m/s. Con circulación forzada entre 0.5 – 2 m/s. La temperatura óptima de secado estará en función del producto a deshidratar.

Figura 2.23: Tipo de secaderos: a) Secador solar directo con colector solar b) Secador solar Tipo túnel c) Modelo híbrido



a.



b.



c.

Fuente: CDTS-SEAG

2.4.6 Concentrador Solar

Los concentradores solares utilizan sistemas ópticos reflectores y en algunos casos refractores, para aumentar la intensidad de la radiación solar que se dirige sobre una superficie receptora absorbente. Estos sistemas solo funcionan con la radiación directa y no aprovecha la radiación

difusa. Así mismo, requiere una superficie óptica de grandes dimensiones. Los concentradores suelen ser una superficie cóncava lineal de sección parabólica (paraboloide de revolución). Para el caso de sistemas grandes como las centrales solares térmicas el focalizador es una agrupación de espejos (heliostato) que se orientan individualmente para concentrar la radiación en un punto situado en la cúspide de una torre donde se encuentra un horno.

La tecnología solar térmica a media y altas temperaturas como son los cilindros parabólicos o las centrales de torres, alcanzan temperaturas entre 80 y a 1000 °C, que son aprovechadas especialmente para la producción de electricidad, refrigeración por absorción y vapor. Con respecto a la producción eléctrica generada a partir de centrales solares térmicas (rendimiento global 16-20%) se realiza a partir de la conversión termodinámica (ciclo Rankine o Brayton) y electromecánica (turbina-generator) de la potencia térmica absorbida en un fluido calentado mediante radiación solar concentrada. <http://www.psa.es/webesp/instalaciones/almacenamiento.php>

Figura 2.24: Concentradores solares a) heliostatos y torre con receptor central b) disco parabólico c) cilindro parabólico



a.



b.



c.

Fuente: Plataforma Solar Almería

Los concentradores solares pueden clasificarse en función de lo siguiente:

1. Principio óptico
2. Forma del foco
3. Razón geométrica de concentración

1) Concentración basada en principio óptico:

Entre los concentradores basados en varios principios ópticos tenemos:

Concentradores por refracción (lentes)	Son de tipo lentes clásicos o tipo Fresnel. Las lentes de tipo Fresnel proyecta los rayos sobre una superficie plana o curva, reflejando la radiación sobre el receptor.
Concentradores por reflexión (espejos)	Formada por una superficie reflectora usualmente de forma parabólica, donde los rayos solares paralelos al eje de esta son concentrados en el foco que contiene el fluido a calentar.
Luminiscentes	Estos concentradores son dispositivos ópticos para captar y concentrar luz, basados en un elemento óptico plano, normalmente un plástico transparente al que se ha añadido un pigmento luminiscente durante su proceso de fabricación.

2) Concentradores focalizados

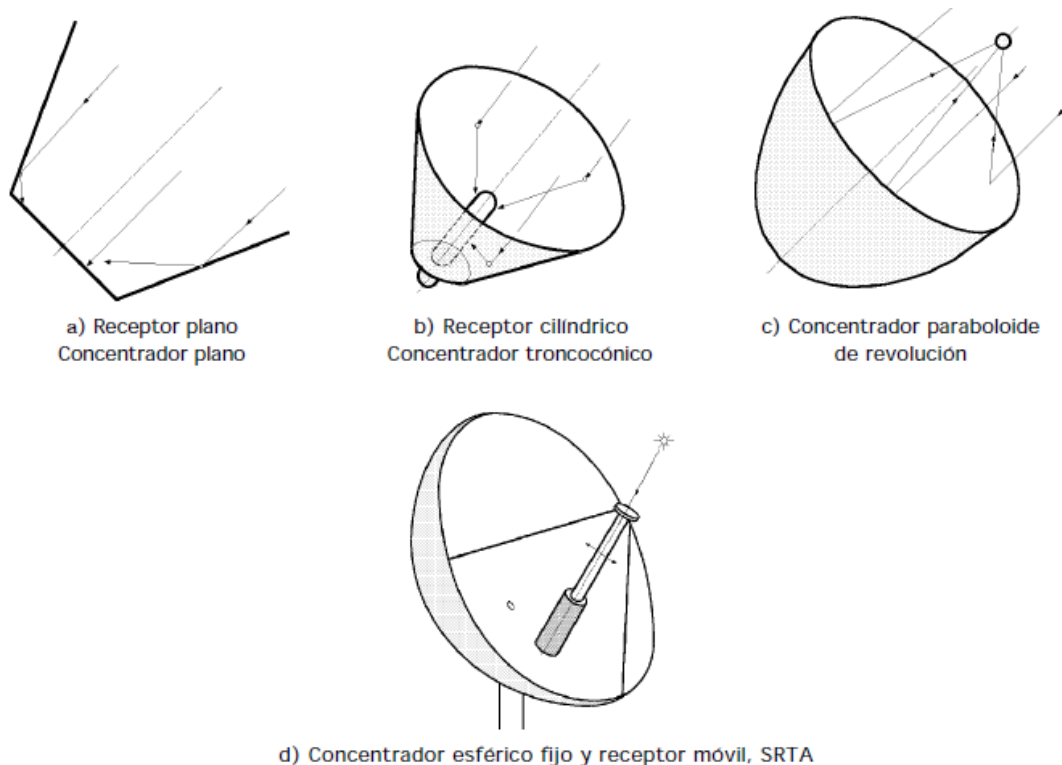
En función de la forma del foco, los colectores concentradores pueden ser:

Concentradores de foco puntual

Los concentradores enfocan la radiación solar sobre un receptor que puede ser puntual en una zona central con una simetría de revolución o pueden tener una geometría determinada por las características del concentrador. Entre ellos se encuentran:

- Receptor plano y concentrador-reflector plano
- Receptor cilíndrico y concentrador-reflector cónico
- Receptor cilíndrico y concentrador-reflector esférico
- Concentrador-reflector tipo paraboloides de revolución

Figura 2.25: concentradores de foco puntual



Fuente: Solar térmica de baja, media y alta de la Universidad de Cantabria.

Concentradores de foco lineal.

La concentración de la radiación solar sobre una línea. Tienen una simetría lineal. Concentradores de este tipo pueden obtenerse mediante proyección lineal de diseños bidimensionales, entre los concentradores de foco líneas se encuentran;

- **Colector con concentrador-reflector cilíndrico parabólico y receptor Tubular:** El tubo receptor se encuentra a lo largo de toda la posición focal. Temperatura aproximada de 300 °C.
- **Concentrador de reflexión Fresnel y concentrador refractor Fresnel:** Su superficie puede ser plana o curva diseñada cada una para que la radiación sea refleja individualmente al receptor.

Figura 2.26: Concentrador Fresnel



Fuente: PSA Plataforma solar Armería

3) Relación de concentración y de interceptación.

La relación de concentración de flujo es la relación del cociente entre el flujo de radiación que incide sobre el receptor, y el flujo que incide sobre la apertura. En ciertos casos para el análisis de estos tipos de concentradores depende exclusivamente de la geometría, indicando que la concentración de flujo es similar a la relación de concentración geométrica, si los espejos son perfectos, no existen sombras o ninguna pérdida.

Relación de concentración geométrica es el cociente entre el área de apertura y del receptor .
 $C_g = A_c/A_{abs}$, donde A_c área de captación , A_{abs} área del receptor.

La máxima relación de concentración efectiva de un concentrador se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$C_{max,3D} = n^2 / (n^2 * \text{sen}^2 \theta_s)$$

Donde n' y n son los índices de refracción de los medios y posterior a la superficie concentradora.

Para los concentradores de foco puntual, la máxima concentración se determina a través de la siguiente ecuación:

$$C_{max,3D} = 1 / \text{sen}^2 \theta_s$$

Entre los sistemas más comunes se encuentran:

- Paraboloides de revolución $C \approx 10^4$, $T \approx 10^3$ K
- Campo de heliostato $C \approx 10^3$, $T \approx 10^2 - 10^3$ K

Los sistemas de concentración de foco lineal tienen su máxima concentración cuando:

$$C_{max,2D} = 1 / \text{sen} \theta_s$$

Entre los que se encuentran:

- Canal parabólico $C \approx 10$, $T \approx 10^2$ K
- Concentradores de Fresnel $C \approx 10$, $T \approx 10^2$ K

2.5 Energía Solar Fotovoltaica

La Tecnología solar fotovoltaica se encuentran formado de materiales semiconductores, especialmente de silicio, y consiste en la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica. Esta conversión se realiza mediante unos dispositivos llamados células solares.

La energía solar fotovoltaica es muy conveniente para zonas geográficas aisladas donde no llega la red eléctrica, como islas o zonas rurales, y en el denominado sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica.

2.5.1 Funcionamiento de la célula solar

La célula solar basa su funcionamiento en el efecto fotoeléctrico y se encuentra formada por tres elementos: dos laminas de silicio que hacen a la vez de semiconductor tipo n (exceso de carga negativa) y tipo p (exceso de carga positiva), y una capa intermedia de unión np.

El semiconductor tipo n tiene en su última capa 4 electrones, que al liberarse se unen con otros átomos de su alrededor formando un enlace covalente (8 electrones), la red cristalina formada no permite el paso de corriente, por esta razón se le añade una cantidad de boro y fósforo, creándose dos zonas una faltando electrones y otra sobrando electrones. Al unirse se crea una unión de electrones-huecos que provoca un campo eléctrico que no permite el paso de corriente, salvo cuando los fotones proveniente de la luz solar chocan contra la lamina tipo n rompe esta unión liberando una cantidad de electrones. Estos electrones al estar en movimiento pasan a la capa intermedia np que deja pasar el flujo de electrones en una única dirección llevándolos a la lamina tipo p. Al no tener la misma cantidad de electrones se crea una diferencia de potencial entre ambos semiconductores, que cuando se cierra externamente el circuito, es capaz de hacer circular una corriente eléctrica.

2.5.2 Tecnología de Fabricación de las células solares de silicio cristalino

Los paneles fotovoltaicos están formados de un conjunto de celdas solares que se fabrican por medio de una serie de procesos industrializados:

- *El silicio de grado metalúrgico*, se obtiene a partir de los elementos como arena o cuarzo con una pureza mayor del 98% . Reaccionando carbono con sílice en polvo a 1800 grados Celsius reduciendo de esta manera el SiO₂.

- *Purificación del silicio.* Se hace reaccionar el silicio con ácido clorhídrico, obteniéndose triclosilano, después se purifica y se procede a reaccionarlo con hidrogeno puro obteniendo silicio ultrapuro y ácido clorhídrico. Obteniendo barras de polisilicio no cristalizado (2 metros de largo y 30 cm de ancho).
- *Crecimiento de los cristales de silicio:* Parte del polisilicio anterior se le introduce una impureza del tipo P o N, denominados dopantes.
- *Corte de la oblea:* Se parte la barra de material monocristalino o bloque de policristalinos. Se cortan los bordes creando una geometría cuasi cuadrada o se fraccionan en barra. Han de cortarse en delgadas obleas de silicio, de espesor igual al espesor de una célula (0.2 -0.5 mm)
- *Ataque químico y textura:* Las obleas al salir muy dañadas son puestas en ácido o bases para eliminar las capas dañadas. La texturizarían se realiza mediante ataque anisotrópico creando en la superficie una rugosidad pseudo periódica en forma de pirámide invertida en el caso del sílice cristalino.
- *Soldadura de las células y laminado:* En etapa se realiza la formación de la unión P-N en la cual el exceso de electrones de N pasa al otro cristal y ocupa los espacios libres en P.
- *Colocación de los contactos metálicos:* Se conecta la célula con el exterior, la cara no luminosa se extiende los contactos por toda la zona, mientras que en la parte iluminada se colocan en la superficie contactos de anchura de hilo 300 μm .
- *Tratamiento antirreflexivo:* se colocan capas antirreflexivas para reducir las pérdidas por reflexión (menor al 1%), deben de presentar un índice de refracción óptimo de 2,3 entre el cristal que cubre las células y el silicio.

2.5.3 Tipos de paneles fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos, son construidos con materiales ópticos, y cuyos materiales son dispuestos de tal forma que retienen la energía solar para transformarla en energía eléctrica.

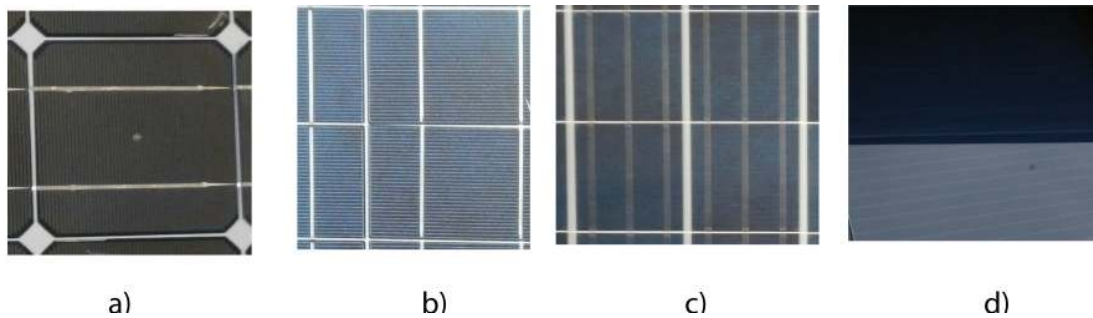
La potencia que puede suministrar un módulo FV dependerá del número de células que posea. Un valor típico para módulos compuestos por 36 células conectadas en serie oscila entre los 50 y 100 W, dependiendo del área de cada una de las células. Si esta potencia de un módulo resulta insuficiente para una determinada aplicación, el instalador conecta los módulos necesarios, en serie y en paralelo, hasta obtener la potencia requerida. Los módulos fotovoltaicos se pueden adaptar a diferentes tamaños, potencias y diseños, de modo que pueden instalarse en prácticamente cualquier lugar. Además, son sólidos, fiables y robustos, y tienen una vida útil de más de 40 años. según la conformacion del modulo se pueden clasificar en cuatro grupos: Los paneles fotovoltaicos se pueden clasificar en tres grandes grupos:

Silicio Monocristalinos: Sus células se obtienen cortando obleas de un solo cristal de silicio puro, reconocibles por su forma circular o hexagonal. Debido a su simplicidad estructural son económicos y ligeros. Su rendimiento se encuentra entre el 15% y el 20%, su color es monocromático (azul oscuro y brillo metálico).

Silicio Policristalinos: Sus células están formadas por pequeñas partículas cristalizadas, por el agrupamiento de cristales de silicio, tienen el aspecto de una amalgama de cristales de diferentes tonos de azules y grises. La efectividad del conjunto aumenta cuanto mayor es la sección de estas partículas. El rendimiento es del 15% en modelos comerciales.

Silicio Amorfo: Desaparece la estructura cristalina ordenada y el silicio se deposita formando una capa fina, sus colores son el marron y el gris oscuro. Rendimiento no sobrepasa el 9%

Figura 2.27: Tipos de paneles fotovoltaicos . a) Monocristalinos , b) policristalinos , c) UGM d) CIGS



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

Existen en el mercado otros tipos de células solares finas como son ; CIS, CIGS, telurio de cadmio, Arseniuro de Galio.

- **P-Si** : Rendimiento máximo 15.3 %, rendimiento típico 11-14 %, rendimiento de la célula 19.8 %
- **CdTe** : Rendimiento máximo 10.5 %, rendimiento de la célula 16 %. Absorbe casi todo el espectro visible. Las células de capa fina de telurio de cadmio.
- **CIS**: Rendimiento máximo 12.1 %, rendimiento de la célula 18.2 %, absorbe el 99 % de la luz. Son películas finas de Selenio , cobre , indio
- **CIGS**: Eficiencia del 20 % en el laboratorio y 11 % en fábrica, aleación de indio , galio y selenio con el azufre
- **GaAS**. Es el material de capa fina de mayor eficiencia real y teórica , se emplea con módulos de concentración mediante lentes de Fresnel. Rendimiento 30-35 %.

Tipos de conectores para paneles

Los conectores más utilizados son los multi contacto , ahorrando tiempo y seguridad en el cableado, otro tipo de conectores son de tipo solarlock , se utiliza para paneles y en ocasiones en conexiones de los inversores.

Figura 2.28: Conectores para paneles fotovoltaicos



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

Parámetros eléctricos

Los paneles fotovoltaicos se definen por una serie de características eléctricas:

- Intensidad de cortocircuito: es la máxima intensidad que un dispositivo fotovoltaico puede entregar sin que tenga conectado a él ningún receptor.
- Tensión a circuito abierto: es el máximo valor de tensión que se obtiene en los extremos del panel fotovoltaico, cuando a él no hay conectado ningún receptor.
- Potencia máxima: corresponde al máximo valor de potencia eléctrica que puede generar el dispositivo sin que se deteriore.
- Intensidad a máxima potencia: este valor es utilizado como el valor de intensidad nominal del aparato. Corresponde a la intensidad que entrega el dispositivo cuando trabaja a potencia máxima.
- Tensión a máxima potencia: este valor es utilizado como el valor de tensión nominal del aparato. Corresponde a la tensión que aparece entre los extremos del dispositivo cuando este trabaja a máxima potencia.
- Tensión máxima del sistema: corresponde al máximo valor de tensión que pueden soportar las células fotovoltaicas que componen el panel.

3 — DISEÑO BÁSICO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

La **tecnología de la energía solar fotovoltaica** convierte directamente la luz del Sol en electricidad. Con el paso del tiempo esta tecnología va avanzando, así como sus aplicaciones que van desde la electrificación rural, postes de iluminación, cargadores, marquesinas para parqueaderos, aplicaciones agrícolas (bombeo de agua), aplicaciones espaciales, entre otras. En la actualidad la energía solar fotovoltaica ya es competitiva con otras fuentes de energía no renovable en lugares remotos de difícil acceso a la red eléctrica convencional.

Este capítulo se presenta una visión general del sistema de energía solar fotovoltaica, desde los tipos de componente que lo conforman hasta sus aplicaciones, instalación y dimensionamiento. Finalmente se presentan los principales problemas asociados en la instalación de la fotovoltaica, como cualquier tecnología aplicable que deberían tener en consideración en el momento de su utilización.

Diseño Básico de un Sistema Fotovoltaico

La principal característica que cumple el sistema fotovoltaico que lo diferencia de otras fuentes de energía renovable es que únicamente producen electricidad cuando reciben la irradiación proveniente del sol, y, además la cantidad de energía que generan es directamente proporcional a la irradiación solar que incide sobre su superficie.

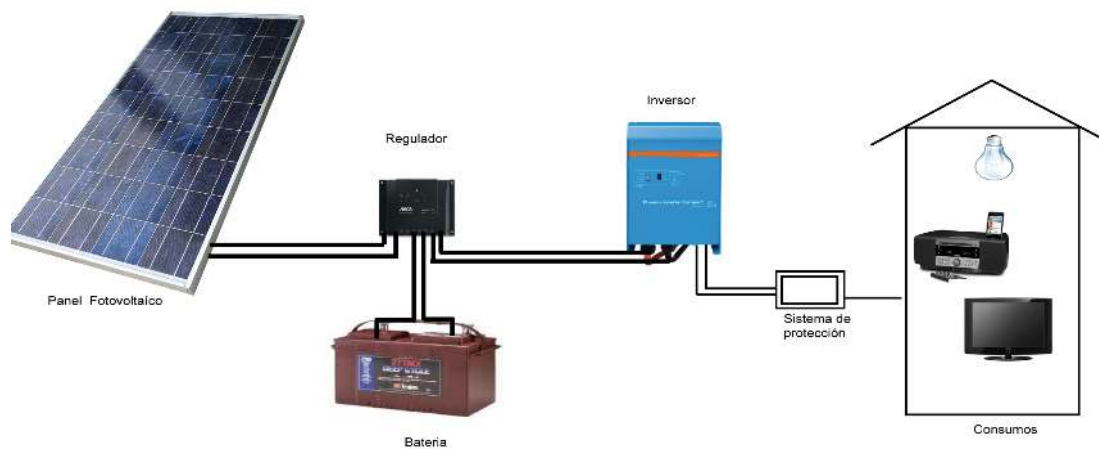
Los sistemas fotovoltaicos se clasifican en:

- **Sistemas fotovoltaicos autónomos** son aquellos que se encuentran aislados de la red eléctrica.
- **Sistemas fotovoltaicos conectados a la red** son aquellos que se encuentran directamente conectados a la red eléctrica.

Cualquiera que sea su aplicación es necesario contar con los componentes y accesorios necesarios para almacenar y distribuir la energía eléctrica, además de mantener una energía constante al consumidor. Para ello el sistema de generación fotovoltaica se encuentra compuesto de:

1. Generador fotovoltaico.
2. Batería de acumulación.
3. Regulador de carga.
4. Inversor.
5. El consumo.
6. Accesorios

Figura 3.1: Componentes del Sistema Fotovoltaico



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

Objetivo del Capítulo III

- El objetivo de este capítulo es estudiar los sistemas solares fotovoltaicos de producción de energía eléctrica. Este tipo de centrales, que si bien por la cantidad de producción de energía eléctrica no son muy significativas, tienen gran importancia por la cantidad de pequeñas instalaciones existentes y, sobre todo, por la complejidad de sistemas electrónicos de potencia que contiene. Así como conceptos y definiciones de los componentes, tipos, y sus diversas utilidades de sistemas fotovoltaico para captar y generar la radiación solar transformándola en energía eléctrica para su consumo.
- Determinar los principios de funcionamiento de las instalaciones aisladas de red centrales conectadas a red.
- Conocer los tipos de inversores, elementos de potencia y diferentes topologías de inversor.
- Identificar los tipos de baterías y regímenes de funcionamiento así como los tipos de reguladores y seguimiento del punto de máxima potencia.

3.1 Componentes y accesorios

3.1.1 BATERIAS

En los sistemas fotovoltaicos las baterías es un componente importante que permite almacenar la energía eléctrica que no está siendo utilizada por el consumidor. Al ser la radiación solar variante es necesario almacenar energía eléctrica durante el periodo de generación (en el día), para garantizar el abastecimiento durante el periodo de consumo cuando el panel no puede abastecer por sí solo (durante la noche), es decir, las baterías es un elemento que va cargándose y descargándose cíclicamente, lo que hace necesario calcular y seleccionar un adecuado conjunto de baterías capaz de alimentar el consumo previsto.

- El **acumulador o batería**, es un dispositivo capaz de transformar una energía potencial química en energía eléctrica
- La **capacidad de una batería**, se entiende como la cantidad de electricidad que puede obtenerse durante una descarga completa de la batería a plena carga. Se mide en amper/hora (Ah), para un determinado tiempo de descarga, siendo el producto de la intensidad de descarga por el tiempo que ésta actúa, calculada hasta que se alcanza la tensión final.

Una batería común está *formada* por celdas, vasos o elementos, que tienen una tensión de 2V. Un acumulador de 12 V correspondiente a 6 vasos conectados en serie. En caso de baterías monoblock su configuración es diferente.

Un conjunto de baterías puede estar conectado en serie, paralelo o mixta dependiendo del voltaje proveniente del panel fotovoltaico. Además el sistema de almacenamiento (conjunto de baterías) requerido dependerá del consumo diario (Wh/día) que necesita la instalación y que deberá ser calculado previamente. No siempre se da el caso que se necesite un conjunto de baterías para el sistema fotovoltaico , como por ejemplo; en el bombeo de agua la energía se acumula en forma de energía hidráulica y un segundo caso los sistemas conectados a la red donde la energía se acumula en la propia red eléctrica.

Entre las características que debe tener la batería se encuentra:

- Baja auto descarga
- Poco mantenimiento
- Fácil Transporte e instalación
- Capacidad entre 10, 20 o 100 horas.
- Larga vida

Entre los tipos de baterías que podrían utilizarse en un sistema fotovoltaico se encuentran:

1) Batería de Plomo Ácido (Pb-a):

Son las más utilizadas por su mejor adaptación a cualquier corriente de carga, además de ser las más económicas del mercado. De hecho, gran parte del mercado son de baterías Plomo –ácido (Pb-a) encontrándose con ácidos de:

- Plomo-Antimonio (Pb- Sb)
- Plomo-Selenio (Pb –Se)
- Plomo-Calcio (Pb-Ca)

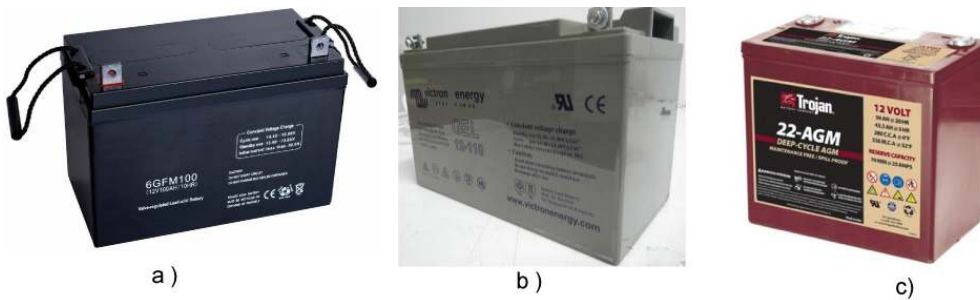
Las mejores en este grupo suelen ser las estacionarias de Plomo-Antimonio (Pb-Sb) al ser de ciclo profundo permiten una mayor descarga, estas baterías se les conoce en el mercado como OPzS debido a que la placa positiva es tubular y contienen mas materia activa conllevando una larga duración lo cual incrementa su valor económico.

Existen además las baterías monoblock abiertas con una calidad inferior y de menor capacidad no obstante suele ser más económicas y aptas para los usos de ciclos medios entre las que se encuentran:

- **Baterías de Gel:** Son selladas en su fabricación, no requieren mantenimiento y el electrolito esta inmovilizado, el gel es de acido sulfúrico con un Sílice especial (SiO₂), tienen una menor profundidad de descarga, su carga se hace a menor tensión y se ha de tener especial atención al regulador asociado; poseen una vida en condiciones de trabajo entre 4 a 6 años.
- **Baterías AGM (Absortion Glass Mat, fibra de vidrio):** Vienen selladas y con una válvula de regulación de presión, admitiendo una mayor profundidad de descarga que las de gel, son mucho mas resistentes y poseen una gran versatilidad al poder instalarse en cualquier posición ya que no poseen perdida de agua.

Las baterías de gel y de separador de fibra de vidrio absorbente (AGM) , se recomienda durante su uso mantenerlas en un lugar ventilado por motivo que pueden producir gas pero generalmente no lo liberan, pero, pudieran liberarlo si se genera suficiente presión interna dentro de la batería durante la carga.

Figura 3.2: Tipos de baterías. a) Plomo- acido. b) Gel c) AGM



Fuente: CDTS-ESPOL ; Manual de la empresa Trojan

2) Batería de Níquel-Cadmio (Ni- Cd):

Estas baterías presentan mayores ventajas que las de Plomo acido por la posibilidad de sufrir descargas profundas o permanecer largos periodos en baja carga sin sufrir deterioros. Sin embargo son muy costosas.

Entre las características más importantes que podemos indicar de estas baterías se encuentran:

- Descarga entre 80 y 90 %.
- Menor mantenimiento
- Tensión por celda de 1,2 V
- Más ciclos de trabajo
- Mayor duración
- A temperaturas bajas, si el electrolito se congela, al deshielo vuelve a funcionar.
- Pueden quedarse sin agua, pero al rellenarlas se recuperan.
- Al no producir gases corrosivos, pueden ir en el mismo armario que los aparatos electrónicos que alimentan.

Figura 3.3: Tipos de baterías de Níquel Cadmio



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

3) Níquel Metal Hidruro (Ni-Mh) y Litio

Son Baterías que se encuentran destacando en el mercado por su aplicación crítica, de baja potencia y portátil. Tienen una alta densidad energética y son una alternativa al Cadmio, que es toxico y perjudicial para el medioambiente.

Las baterías de litio por otro lado son más caras, pero tienen hasta 4 veces más densidad energética y permite un mayor número de ciclos.

Otras características:

- El electrolito es alcalino (litio, Sodio, Potasio)
- Baja auto descarga
- Alto rendimiento en temperaturas extremas
- Bajo mantenimiento
- Se fabrican abiertas o selladas.

Existen otros tipos de baterías, como las de Níquel –Hierro (Ni-Fe), Níquel-zinc (Ni-Zn), Zin-Cloro (Zn-Cl) o Ion – Litio (I-Li), que no presentan características apropiadas para conectar a los sistemas fotovoltaicos.

Conexión.

Las baterías pueden ser conectadas en serie, paralelo o mixta, para ello es necesario seleccionar adecuadamente el tamaño de cable indicado para que pueda soportar la carga esperada durante el servicio. Si se realiza una mala conexión pueden provocar que el rendimiento sea bajo y que las terminales se dañen, se fundan o se quemen. Es preferible que todos los cables utilizados en los grupos de baterías conectadas en serie-paralelo, sean de la misma longitud.

Cuadro 3.1: Corriente máxima de soporte del cable.

Tamaño del cable	Amperaje
14	25
12	30
10	40
8	55
6	75
4	95
2	130
1	150
1/0	170
2/0	265
4/0	360

Fuente: Manual del usuario de las baterías Trojan

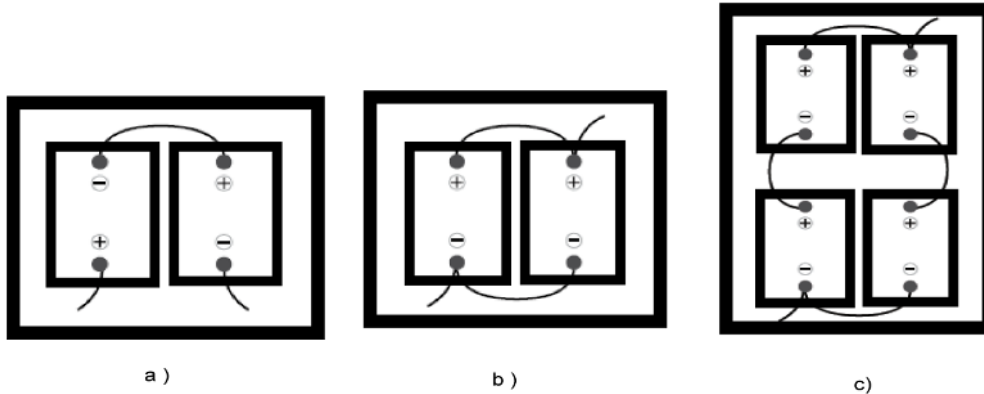
Los valores de el cuadro 3.1 corresponden a una longitud para cables menores de 6 pies (1.83 m.).

Se **conecta las baterías en serie**, para aumentar el voltaje del sistema, pero esto no aumentará la capacidad del sistema.

Se realiza la **Conexión en paralelo** para aumentar la capacidad del sistema , pero esto no aumentara el voltaje del mismo.

Conexión serie – paralelo: Para aumentar tanto el voltaje como la capacidad del sistema se conecta un grupo de baterías en serie a otro en paralelo.

Figura 3.4: Conexión de las baterías. a) serie. b) Paralelo. c) Mixta.



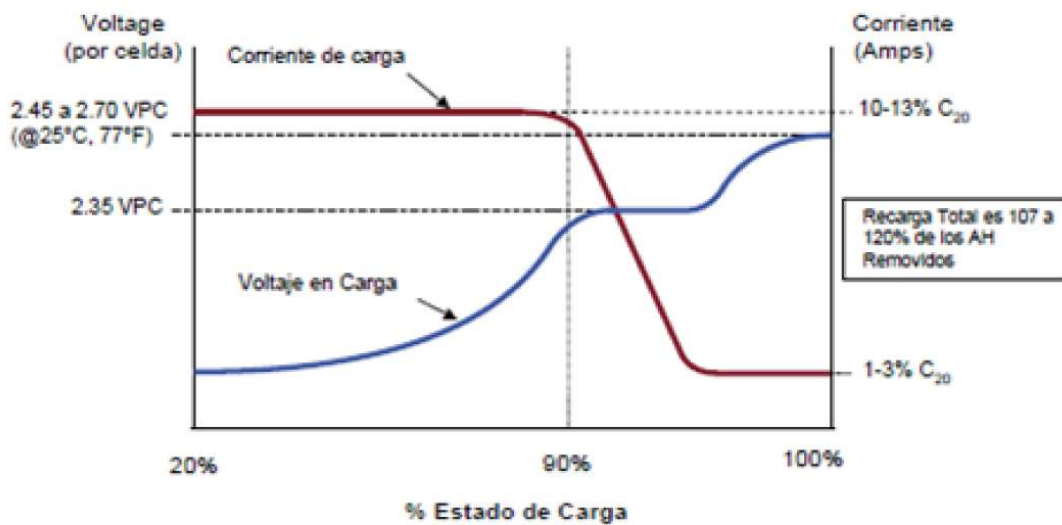
Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

Carga de la batería

Es importante cargar las baterías de manera adecuada para optimizar su rendimiento. Cargarlas de menos ó de más puede reducir significativamente la vida útil de la batería. Las baterías se deben cargar por completo después de cada uso, se debe evitar cargar una batería a temperaturas superiores a 49°C o que se encuentre congelada.

El tiempo de carga varía del tamaño de la batería , la corriente de salida del cargador y la profundidad de carga.

Figura 3.5: Perfil de Carga recomendado para materias de electrolito líquido



Fuente: Manual del usuario Marca Trojan

3.1.2 REGULADOR DE CARGA

El regulador de carga es el elemento encargado de proteger la batería contra sobrecargas y sobre descargas excesivas que podrían resultar dañinas para la batería, acortando su vida útil. Es un dispositivo que se instala entre el generador fotovoltaico, las baterías y el consumo.

Su modo de funcionamiento es simple;

- Cuando el regulador detecta que la batería está siendo sobrecargada, corta la carga del generador fotovoltaico desconectándolo.
- Cuando detecta que la batería desciende de un determinado valor conocido como tensión de corte por sobredescarga, desconecta los consumos.
- Evita que la corriente regrese al generador fotovoltaico durante la noche, ya que está provisto de diodos que hacen esta función
- Regula la tensión de carga a partir de la temperatura
- Están incorporadas por alarmas lumínicas o sonoras

Los reguladores suelen trabajar en tensión nominal de 12, 24 o 48 V DC conectado al sistema de generación, la intensidad de carga del campo fotovoltaico manejado por el regulador, suele ser acorde a la corriente de la línea de consumo; su constitución en paralelo posee un disparador térmico que disipa la potencia que sobra de los paneles, provocando pérdidas en forma de calor. Esto hace que se utilicen solo para aplicaciones pequeñas; los reguladores en serie tienen la capacidad de interrumpir la carga a la batería sin disipar potencia a través de un grupo de transistores no necesita de un diodo interno.

Figura 3.6: Regulador de carga



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

3.1.3 INVERSOR

Los Inversores o convertidores continua-alterna son aquellos dispositivos formados por diversos conjuntos de circuitos electrónicos, destinados a convertir la corriente continua normalmente de una batería en corriente alterna. Los inversores crean una forma de onda cuadrada que se puede filtrar para obtener una onda sinusoidal como la que se obtiene en la red eléctrica, estos se caracterizan primordialmente por:

- La **tensión nominal** de entrada, rango en el que pueden trabajar
- La **potencia nominal**, rango en que se consigue una mayor eficiencia
- **El rendimiento del inversor** , se define como la relación entre la potencia eléctrica que el inversor entrega a la utilización (potencia de salida) y la potencia eléctrica que extrae del generador (potencia de entrada).
- **La Sobrecarga de inversor**; Capaz de soportar varias veces superiores a la nominal durante un breve periodo de tiempo, para permitir los picos de corriente que existen, como por ejemplo al encender un motor.

La inclusión de este dispositivo estará definido por el estudio inicial del diseño ya que los sistemas fotovoltaicos pueden ser exclusivamente DC, puramente AC o Mixto.

La corriente producida por los paneles fotovoltaicos, es continua y oscila entre los 12 o 24 voltios, como principal función del inversor es convertir esta corriente continua en corriente alterna.

Entre los tipos de inversores de corriente corriente continua - alterna se encuentran :

- Inversores aislados o autonomos : Se encuentran protegidos de los cortocircuitos , sobrecargas, tensión.
- Inversores de conexión a red: Se encuentran protegidos cotocircuitos en alterna, tensión y frecuencia de red, sobretensión, perturbación , se activa a potencia superior al 10%, soporta picos de un 30%.

En ciertos casos se utilizan convertidores de corriente continua - continua , cuando la tensión en los paneles es alta, a partir de los 48 V , con recorridos grandes. Consiguiendo disminuir la tensión nominal de entrada y salida , potencia nominal de salida y el rendimiento.

Figura 3.7: Inversor para conexión en red



Fuente: Autosolar

Figura 3.8: Inversor - Cargador



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTs-ESPOL

3.2 Instalaciones aisladas y sistemas conectados a la red

Aplicaciones de los Sistemas Fotovoltaicos

Actualmente y según el grado de desarrollo, las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica pueden dividirse en tres grandes grupos:

Grupo I.

Conformado por las aplicaciones **aisladas de la red** y que ocupan la gran mayoría de las instalaciones dedicadas al suministro eléctrico emplazados en zonas y lugares difícil acceso para la red eléctrica convencional o áreas con grandes deficiencias en suministro eléctrico como suele suceder en los países en vías de desarrollo de Latino América y del continente Africano.

Entre sus principales aplicaciones se encuentra la electrificación de viviendas, suministrar electricidad al motor de una bomba para extraer agua de un pozo, estación de purificación de agua, sistema de alumbrado exterior, teléfono público, entre otros.

Grupo II.

Lo componen las llamadas **aplicaciones conectadas a la red**, entre las que encontraremos las centrales fotovoltaicas situadas en azoteas, tejados de viviendas, fachadas de edificios y en cobertizo o marquesinas clásicas en su concepción y normalmente de mayor potencia instaladas en terrenos aptos para otros usos. Cabe destacar como un grupo aparte aquellas centrales totalmente integradas en los edificios, es decir, forman parte integrante de su cerramiento o cubierta.

Grupo III.

Comprenden las **aplicaciones dedicadas al suministro energéticas de objetos particulares**, que abarcaría desde los satélites artificiales o nuevos prototipos de aviones estratosféricos a las pequeñas aplicaciones de electrodomésticos como relojes, calculadoras, radios, despertadores, juguetes entre otros. Las instalaciones suelen, en cuanto a tamaño, seguir la siguiente

nomenclatura en función de la potencia del inversor: pequeñas (hasta 20 kW), medianas (de 20 kW a 200 kW) y grandes (mayores de 200 kW), entendiendo el reservar la denominación de Central Fotovoltaica para la instalación mayor de 1 MW de potencia.

3.2.1 Instalaciones Fotovoltaica aisladas

En cierto caso las instalaciones fotovoltaicas dan una solución simple al problema de suministro eléctrico en las áreas rurales remotas, alejadas de las redes y de las infraestructuras eléctricas: es confiable, no necesita combustibles, tiene un mantenimiento sencillo de bajo coste y puede usarse en cualquier lugar con cualquier tamaño.

La fotovoltaica es a menudo, la mejor forma de llevar electricidad a las viviendas y poblados de los más de 2.000 millones de personas que no tienen acceso al suministro eléctrico o al agua potable. La aplicación de la tecnología fotovoltaica en sectores rurales llevan más de dos décadas siendo utilizadas en diversas regiones del mundo para el alumbrado y las telecomunicaciones, las estaciones de bombeo, la refrigeración de vacunas y medicinas, entre otras.

A la hora de alimentar eléctricamente una vivienda del tipo rural utilizando energía fotovoltaica, se hace necesario que el **sistema fotovoltaico aislado (autónomo)** requiera de:

- Un panel solar
- Una batería
- Un regulador electrónico con el fin de controlar la carga de la batería desde el panel
- cables
- Inversor
- bases de enchufe en las que conectar los focos o los aparatos electrodomésticos

MINI REDES

Cuando en un poblado o en una zona se conectan varias instalaciones de generación, o una instalación mayor que una aislada, logrando con esto mejorar el abastecimiento eléctrico del conjunto, se le conoce como una Mini red. Entre las ventajas obtenidas es que se requiere menor capacidad de acumulación, a diferencia de las instalaciones individuales; otra es que las mini redes suelen trabajar con corriente alterna y permite el uso de componentes eléctricos más comunes.

Para optimizar el suministro eléctrico de las mini redes, comúnmente se instalan sistemas híbridos que incluyen generadores de respaldo ya sean eólicos, mini hidráulicos o de gasóleo. Las mini redes pueden ampliarse con facilidad si las circunstancias lo requieren.

3.2.2 Instalaciones Fotovoltaica Conectada a la Red

Son diversas las razones de la instalación de este tipo de conexión siendo cada vez más utilizadas : Permiten al usuario convertirse en productor de energía en busca de un beneficio económico ; ahorrar electricidad en los picos de demanda o sencillamente para estabilizar al consumo si el suministro que reciben es inestable; muchos otros justifican toda o en parte la inversión a razones de conciencia medioambiental, esta ultima ha ganado mayores afectos, en todos los casos existe la motivación de contribuir al desarrollo de esta tecnología limpia.

En caso de sistemas conectados a la red eléctrica, no se necesita el sistema de acumulación, es decir, batería y regulador ya que es posible utilizar la energía procedente de la red para suplir la demanda no cubierta por la instalación fotovoltaica o inyectar en la red el excedente de energía producida o su totalidad. Por otro lado, el número de paneles suele ser muy superior al de las instalaciones aisladas y el inversor deberá seguir la frecuencia de la red.

Por lo tanto los componentes básicos del sistema son:

- Generador fotovoltaico
- Inversor

- Elemento de conexión a la red eléctrica

Sistema de Generación

El sistema de generación de una instalación fotovoltaica conectada a red está formado, por módulos fotovoltaicos, conectados en serie / paralelo para conseguir los valores de tensión y corriente deseados.

Usualmente los módulos se interconectan entre sí formando unidades llamados “grupos”, y estos a su vez se conectan para formar el campo de paneles. En cada grupo, los módulos se asocian en serie y en paralelo, lográndose con la conexión en serie el valor de tensión deseado y con la asociación en paralelo el de corriente. A la conexión de los módulos en serie suele denominarse hilera o rama, eventualmente los paneles en este tipo de instalaciones son idénticos, por tanto, el valor de tensión aparece multiplicado por el número de paneles en serie y el de corriente por el número de ramas en paralelo.

En la práctica, debido a diferencias en el proceso de fabricación y a la posibilidad de que no todos los paneles tengan las mismas condiciones de temperatura y radiación, es frecuente que los módulos que constituyen un campo fotovoltaico no operen en las mismas condiciones, sobre todo en instalaciones que cubren gran área, donde una nube puede afectar a una parte del campo fotovoltaico, o en el caso de un sistema integrado en un edificio en el cual una parte del mismo estuviera sombreado por edificios colindantes y el resto no.

Algunos efectos se pueden evitar teniendo cuidado a la hora de realizar el diseño, pero otros son impredecibles e inevitables, siendo necesario proteger el sistema, mediante la colocación de diodos, interruptores, fusibles y otras protecciones.

1) Diodos de paso.

Cuando existe sombreado parcial o deterioro de un módulo, este se convierte en carga que disipará la energía producida por el conjunto de los módulos asociados en serie. Para evitarlo se colocan diodos de paso o “bypass”, conectándose en paralelo con el módulo y con polaridad opuesta a la de éste. Si el módulo funciona correctamente, por el diodo no pasa corriente. Si por el contrario uno de los módulos está sombreado de forma que invierte su polaridad, la polaridad del diodo cambiará, ofreciendo un camino para el paso de los electrones generados por los otros módulos.

2) Diodos de bloqueo

Su uso pretende evitar la existencia de corrientes inversas hacia los paneles y proteger las ramas débiles o deterioradas; estos son simplemente diodos conectados en serie en cada rama.

En los sistemas aislados su utilización evita que las baterías se descarguen por la noche sobre los paneles, en sistemas conectados a red no existen batería por lo tanto esta situación no existe, no obstante, si se puede producir que en las ramas más iluminadas se deriven corriente hacia las ramas menos iluminadas o deterioradas.

3) Cableado

El cableado ha utilizarse deberá tener un diámetro que permita el paso de la corriente máxima generada sin sobrecalentarse o presentar caídas de tensión superiores a las establecidas en la normativa vigente. Deberá estar preparado para soportar las condiciones medioambientales de trabajo, aislado de la intemperie y resistentes a la humedad.

Además los cables empleados para conectar los módulos han de ser resistente a la luz solar, por otra parte, los que deban ir bajo tierra deberán llevar un revestimiento de combustión lenta, resistente a la humedad y corrosión.

4) Varistores

Los varistores son dispositivos de protección contra sobretensiones producidas por descargas atmosféricas, actúan como protección de sobretensión y se instalan generalmente entre los terminales positivo y negativo de una rama o asociación de ramas y entre cada uno de dichos terminales y la tierra de todas las masas metálicas del sistema fotovoltaico. Ajustados a un valor determinado tensión de protección, al momento en el que se sobrepasa dicho valor, desvían la conexión a tierra, quedando inutilizados después de su actuación por lo que es necesaria su sustitución.

Inversor

Como se ha mencionado con anterioridad, su función es convertir la corriente continua generada por los paneles fotovoltaicos en corriente alterna a una tensión y una frecuencia compatibles con la que circula por la red eléctrica. Además, el inversor sincroniza la onda de la electricidad generada con la onda de la corriente eléctrica de la red, para que su compatibilidad sea total.

Dispone de funciones de protección, tanto para garantizar la calidad de la electricidad vertida a la red, como la seguridad de la propia instalación y de las personas.

Los parámetros que determinan las características y prestaciones de un inversor son los siguientes:

- **Potencia:** La potencia del inversor determinará la potencia máxima que podrá suministrar a la red eléctrica en condiciones óptimas.
- **Fases.** Normalmente, los inversores cuya potencia es inferior a 5 kW son monofásicos. Los mayores de 15 kW suelen ser siempre trifásicos. Muchos modelos monofásicos pueden acoplarse entre sí para generar corriente trifásica.
- **Rendimiento energético.** Debería ser alto en toda la gama de potencias a las que se trabajará. Los modelos actualmente en el mercado tienen un rendimiento medio situado en torno al 90%. Como el rendimiento del inversor es mayor cuanto más próximos estamos a su potencia nominal y con el fin de optimizar el balance energético, es primordial hacer coincidir la potencia pico del campo fotovoltaico y la potencia nominal del inversor.
- **Búsqueda del punto de máxima potencia.** La eficiencia del sistema aumenta si el inversor trabaja en el punto de máxima. Este mecanismo obliga al generador fotovoltaico trabajar en una relación de tensión y corriente tal que su producto ofrezca la mayor potencia posible.

Protecciones

El inversor debería incorporar algunas protecciones generales que, como mínimo, serían las siguientes:

- Instalación de un Interruptor automático de la interconexión. Se trata de un dispositivo de corte automático, sobre el cual actuarán los relés de mínima y máxima tensión que controlarán la fase de la red de distribución sobre la que está conectado el inversor.
- Dispositivo de Funcionamiento “en isla”. Es un dispositivo propio del inversor que deberá evitar de forma redundante la posibilidad de funcionamiento cuando ha fallado el suministro eléctrico o su tensión ha descendido por debajo de un determinado umbral.
- Un limitador de la tensión máxima y mínima.
- Un limitador de la frecuencia máxima y mínima. El margen indicado sería del 2%.
- Una protección contra contactos directos.
- Una protección contra sobrecarga.
- Una protección contra cortocircuito.
- Un separador galvánico.

El estado de funcionamiento del inversor debería quedar reflejado en indicadores luminosos o en una pantalla (funcionamiento anómalo o averías, detención de producción por avería en la red, etc.).

Puesta a tierra

La puesta a tierra de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a red deberán cumplir las medidas de prevención necesarias para evitar accidentes eléctricos ocasionados por contactos directos, ya sean con la colocación de sistemas diferenciales, separación por distancia, interposición de obstáculos, recubrimiento de partes activas o indirectos con la separación de circuitos, utilización de pequeñas tensiones de alimentación, inaccesibilidad, protección por puesta a tierra, aislamiento, conexiones equipotenciales, interruptores diferenciales, entre otros.

También ha de tomarse en consideración las condiciones de puesta a tierra de la red eléctrica a donde se suministrará la energía producida, asegurando que no se produzcan transferencias de defectos a la red de distribución.

Las masas de la instalación fotovoltaica deberán estar conectadas a una tierra independiente de la del neutro de la empresa distribuidora de acuerdo con los reglamento electrotécnicos para baja tensión, así como de las masas del resto del suministro.

3.3 Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico

3.3.1 Sistema Fotovoltaico Aislado

El dimensionado es el proceso por el cual se determina el tamaño de las instalaciones, partiendo de dos parámetros fundamentales; *La demanda a satisfacer* y *la energía disponible* para *cubrir* esta demanda, es decir, la radiación solar disponible. Es necesario tomar en cuenta las características que deberá ofrecer la instalación, como son garantizar un suministro constante y el elevado costo en los equipos.

Un correcto dimensionado de las instalaciones supondrá además asegurar el buen funcionamiento y su utilización a lo largo del tiempo, evitando su rápida depreciación y prematura obsolescencia, al utilizarse en fines para los cuales no habían sido diseñados.

Los pasos a seguir para el diseño de una instalación aislada pueden enumerarse a continuación:

1. Determinación del consumo de los aparatos eléctricos.
2. Determinación de la inclinación óptima de los paneles.
3. Dimensionado del campo de captación.
4. Dimensionado del sistema de Baterías.
5. Dimensionado del cableado.

1 - Determinación del consumo de los equipos

Primero se han de tener en cuenta las características de los aparatos eléctricos a conectarse:

- Potencia (W),
- Corriente de alimentación (Alterna o Directa)
- Horas de funcionamiento,
- Periodicidad, entre otros

Se procede a calcular el consumo diario de la instalación realizando una lista de los electrodomésticos y equipo, agrupándolos si son de corriente directa (DC) o son de corriente alterna (AC), procedemos para cada apartado a multiplicar el número de equipos (si se da el caso que son repetido) con la potencia y el número de horas de funcionamiento diarias.

Consumo diario por cada electrodomésticos (Wh/día) = número de equipo x Potencia x Horas

Ejemplo:

8 lámparas de 20 W.

Consumo en lámparas = $8 \times 20 \text{ W} \times 2.5 \text{ h/día} = 400 \text{ Wh/día}$

Una vez realizados estos cálculos sumamos cada consumo de los equipos obteniendo el consumo diario total (C_d) a conectarse (ya sea en AC, DC).

Conocido el consumo en AC, evaluaremos la *potencia del inversor*. Ésta debe calcularse según la simultaneidad en el uso de las diferentes cargas, es decir, asumir si los equipos actuaran en un mismo instante o lapso de tiempo determinado.

Debemos tomar en cuenta dos factores a mayores que son:

- *Factor de seguridad (E_b)*, que corresponde diversas pérdidas en el cableado, conexiones, variaciones en los consumos previstos inicialmente, etc. Un valor estimado de 10% para la mayoría de los casos sería suficiente en el caso de no existir una normativa para tal factor.
- *Rendimiento del inversor (E_i)*, El inversor tiene un consumo propio constante y un rendimiento variable en función de la carga a suministrar, en caso de no poseer información del mismo puede tomarse como valor medio un 90%.

La energía diaria consumida (E_d) será el resultado de la operación:

$$E_d = \frac{(100 + E_b) * C_d}{E_i}$$

2 - Determinación de la Inclinación Óptima de los Paneles

Para lograr determinar la correcta inclinación debemos conocer los valores de latitud y el hemisferio donde se realizara la instalación, utilizaremos en lo posible tablas de energía solar recibida por metro cuadrado y día, en el área de estudio, en el caso de no poseerlas, se harán los cálculos respectivos para su determinación (VER CAPITULO 2 , Energía solar).

Haremos especial atención en la utilización de una sola posición para los paneles, con el ángulo de inclinación respectivo con vista al Norte (si la instalación se realiza en el hemisferio Sur) o vista Sur (Si la instalación se encuentra en el hemisferio Norte). También es posible elegir la mejor posición entre verano e invierno o en el caso que realicemos una instalación que nos permita dos posiciones, siendo la mejor opción una de doble inclinación (o más), sin embargo esta no es ni la más económica ni la más usual.

3 - Dimensionado del Campo de Captación

Para el dimensionamiento es necesario tener la siguiente información:

- La potencia de captación de los paneles fotovoltaicos que vayamos a emplear para la Instalación (P_c) en vatios pico.
- El área del panel (A) en m^2 .
- El rendimiento de los paneles (R_{panel}) vendrá determinada por la relación entre los vatios pico y el área del panel .

$$R_{panel} = \frac{P_c}{1000W/m^2 * A}$$

De toda la radiación solar que llega al panel, sólo se aprovecha la necesaria para su rendimiento $G_t \times R_{panel}$. Por tanto, para obtener los metros cuadrados de paneles (S) necesarios para nuestro consumo (E_d). Se determina a través de la relación del consumo diario total (E_d) (Wh/día) sobre la radiación incidente (G_t) (kWh/día m^2)

$$P = E_d/G_t$$

A este valor se le aplica un factor 1,1 a fin de compensar posibles pérdidas debidas a errores en la orientación, la limpieza de los paneles, conexiones, etc.

$$S = 1,1 * \left(\frac{P}{G_t * R_{panel}} \right)$$

Al dividir la superficie total de paneles (S) que necesitamos entre el área del panel que vamos a utilizar (A), obtendremos el número de paneles (Np) que necesitamos adquirir.

$$N_p = \frac{S}{A}$$

Al multiplicar el número de paneles (Np) por la potencia pico (Pc) de cada panel el resultado sera la potencia total (PT) de nuestra instalación.

$$P_T = N_p * P_c$$

4 - Dimensionado del Sistema de Baterías

Para conocer el número de batería requerida en la instalación es necesario conocer la siguiente información:

Días de autonomía (D), corresponderán al tiempo que ha de funcionar la instalación sin recibir la radiación solar en condiciones adecuadas. Esta relacionado con las características climáticas del emplazamiento en la estación del año para la que se dimensiona la instalación y por las necesidades de fiabilidad del suministro, normalmente un valor de 3 días de autonomía es aceptable existiendo casos en donde se deberán tomar en consideración de 3 a 5 días para instalaciones en casa rurales, de 6 a 7 días para emplazamientos con baja irradiación y días nublados, por ultimo entre 7 a 10 días en sistemas de comunicación remota.

Profundidad de descarga máxima (M), correspondiente al límite de descarga que puede alcanzar la batería, sin perjudicarla de cara a sus prestaciones. Usualmente puede tomarse este valor como de un 70 %.

Tensión de trabajo de la instalación (T), elegido en función de las características de la instalación, valores de 12, 24 o 40 V son los mas comunes con *corriente de carga que no superen los 100 A*.

La capacidad de la batería bajo 100 horas de descarga continuada (C100), debemos tener en cuenta que la capacidad de una batería depende de la velocidad de descarga, cuanto más rápidamente se la descargue menos energía se recuperara de ella. En baterías plomo-ácido las relaciones entre las capacidades a distintos regímenes de descarga son aproximadamente C 100/C10 =1,5 y C100/C20 =1,25.

Para conocer el número de baterías a emplear debemos manejar la capacidad en Amper / horas y la tensión de trabajo, así obtendremos la potencia de la batería.

Para calcular la capacidad de acumulación (Ld) en las baterías hemos de conocer la energía máxima que consumimos diariamente (Ed) (Wh/día) y dividirla por la tensión de trabajo de batería (12 V), así logramos la transformación de Wh a Ah (valor de la capacidad de acumulación de las baterías). $L_d = E_d/V$ (Ah/día)

Al resultado de esta operación, lo multiplicamos por el número de días de autonomía (D) y finalmente lo dividimos por la profundidad de descarga máxima (M). Un factor 110 % se aplica para compensar posibles pérdidas. Unidad (Ah)

$$C_{100} = 110 * \left(\frac{L_D * D}{T * M} \right)$$

Debemos comprobar que la *corriente de carga* suministrada por los paneles no sea mayor a un 10% de la cantidad que corresponde a la capacidad de acumulación, una carga acelerada podría dañar a las baterías.

5 - Dimensionado del Cableado

En lo que se refiere al dimensionado de los conductores eléctrico, se deberán tener en cuenta los valores de Tensión nominal de trabajo, tipo de corriente, capacidad, caída de tensión y márgenes de seguridad establecidos en las Normativas Locales e internacionales referidas a los diámetros de cada conductor para instalaciones de baja tensión. Sin embargo en el cableado común a todas las instalaciones, se plantean los siguientes aspectos de caída de tensión:

- Entre generador y regulador/inversor 3 %
- Entre regulador y batería 1 %
- Entre inversor y batería 1 %
- Entre regulador e inversor 1 %
- Iluminación en corriente continua 1,5 %
- Entre inversor y cargas 3 %

Consideremos minimizar la longitud de los cables, reduciendo la distancia entre los módulos solares, el regulador y las baterías; y entre éstas o el regulador y el inversor. Al elegir la sección de los cables, consideremos que las caídas máximas de la tensión, comparadas con la tensión nominal de la instalación estén por debajo de los valores indicados anteriormente.

3.3.2 Instalación de Sistema conectado a red

Al diseñar una instalación conectada a red es necesario hacer un calculo minucioso referido a la energía aprovechable en el lugar de emplazamiento donde se llevara a cabo la instalación, permitir en lo posible las condiciones para el generador fotovoltaico considerando valores anuales en el diseño, condiciones de irradiación y orientación de los paneles así como el tipo de tecnología a utilizar nos brindara un mayor rendimiento en la producción que verteremos a la red.

A partir de la potencia que decidamos para nuestra instalación, elegiremos como base el (los) Inversor (s), seguidamente de la conexión de los paneles que serian en serie , paralelo o mixto es decir que se adapten a la entrada del inversor de la manera mas optima posible.

Al agrupar los paneles tendremos en cuenta:

- **Módulos:** Conociendo su tensión y corriente, es recomendable que sean del mismo modelo ya que se ha de garantizar una compatibilidad total de valores eléctricos.
- **Conexión de los Módulos:** Se conectaran paneles en serie sin que estos lleguen a superar la tensión máxima y de circuito abierto del inversor conocido como ramas, se formaran ramas en paralelo sin superar la corriente máxima y de cortocircuito que soporte el inversor. Haremos grupos de conexiones paneles – Inversor hasta llegar al valor de potencia deseado.

Calculo de la producción anual esperada

Para obtener la producción eléctrica que tendrá la instalación, han de calcularse las producciones teóricas en función de la irradiancia mensual, la potencia instalada y el rendimiento de la instalación.

$$E_p = \frac{G_{dm}(\alpha_{op}, \beta_{op}) * P_{mp} * PR}{G_{cem}} Kw/dia$$

$$G_{dm}(\alpha_{op}, \beta_{op}), P_{mp}$$

Donde; G_{dm} es el valor de irradiación mensual sobre la superficie del generador fotovoltaico, P_{mp} la potencia instalada, PR el rendimiento energético y la irradiación estándar ($1\text{Kw}/\text{m}^2$)

Caso de Estudio: Refrigeradoras domésticas y congeladores consumo de energía

Se hace necesario energizar una vivienda rural ubicada en Valladolid España, por una familia compuesta de tres personas, los equipos eléctricos a conectar se detallan en la tabla 3.2

Cuadro 3.2: Equipos eléctricos utilizados en una vivienda.

Electrodoméstico	Potencia (W) c/u	Horas de funcionamiento	Tipo corriente
1 Nevera	150	1000 Wh/día	AC
1 lavadora	2000	850 Wh/día	AC
1 televisor 20''	60	3	AC
1 fluorescente	40	4	DC
5 lámparas	15	1	DC
2 lámparas	30	4	DC
1 Bomba de Calor	60	8	AC

Determinación del consumo de los equipos.

Determinar la energía consumida por la instalación es el paso inicial para conocer la demanda energética a suministrar, hemos de evaluar por separado los consumo de los equipos de corriente alterna y de corriente directa, también debemos observar si existen variaciones estacionales, ya que determinadas aplicaciones, son mas importante frente a los consumos en otros usos, por lo que deben calcularse los consumos para varios meses. En el caso de que el sistema sea constante a lo largo de todo el año, bastará con realizar una única estimación.

El consumo de los equipos de Corriente Directa, será el producto del número de equipos iguales multiplicado por la potencia de cada equipo y por el número de horas de funcionamiento diarias ($P*N*H$). los consumo de los equipos de corriente alterna aplican la misma regla.

Cuadro 3.3: Consumos

Electrodoméstico	Número de equipos N	Potencia (W)	Horas/día función H	Consumo (Wh/día) ($P*N*H$)
fluorescente	1	40	4	160
Lámp. ahorradoras	5	15	1	75
Lámp. ahorradoras	2	30	4	240
		Sub total DC	Cd1=	475
Nevera	1	150		1000
Lavadora	1	2000		850
Televisor 20''	1	60	3	180
Bomba de Calor	1	60	8	480
		Sub total AC	Cd2=	2510

Una vez obtenido la demanda a cubrir, evaluaremos la potencia del inversor. Esta debe calcularse según la simultaneidad en el uso de las diferentes cargas, por tanto, y cómo es posible el uso de todos los electrodomésticos simultáneamente, tomaremos el valor de la potencia total Instantánea, es decir, 2270 W (la suma de todas las potencias AC).

Recordando los factores de *Margen de seguridad* (E_b) y *Eficiencia del inversor* (E_i), procederemos al cálculo de los consumos diarios (E_d) con el resultado de la operación:

$$E_{d2} = \frac{(100\% + E_b) * C_{d2}}{E_i} = \frac{(100\% + 0,1) * 2510}{0,9} = 3068Wh/dia$$

Para el consumo en DC utilizaremos la misma fórmula entendiendo que $E_i = 1$.

$$E_{d1} = \frac{(100\% + E_b) * C_{d1}}{E_i} = \frac{(100\% + 0,1) * 475}{1} = 522,5Wh/dia$$

El consumo diario total de los equipos será entonces:

$$E_d = E_{d1} + E_{d2} = 3068 + 522,5 = 3590,5Wh/da.$$

Determinación de la Inclinación Óptima de los Paneles.

Debido a la ubicación, podemos encontrar en las redes oficiales tablas con información de irradiación, en este caso particular usaremos las tablas de energía solar (metro cuadrado y día) obtenidas para la ciudad de Valladolid. Durante el diseño tomaremos en cuenta una sola posición para los paneles (eligiendo entre verano e invierno) o si realizaremos una instalación que nos permita dos posiciones.

Figura 3.9: Radiación media diaria en Valladolid.

Radiación media diaria (kWh/m ² /día) en Valladolid para distintas inclinaciones												
15°	1,54	3,60	4,08	4,98	5,48	6,32	6,97	6,62	4,96	3,65	2,15	1,38
45°	1,90	4,43	4,41	4,83	4,90	5,42	6,08	6,24	5,18	4,28	2,73	1,90
60°	1,94	4,48	4,23	4,39	4,26	4,60	5,17	5,55	4,78	4,25	2,81	2,01
15° y 60°	1,94	4,48	4,23	4,98	5,48	6,32	6,97	6,62	4,96	4,25	2,81	2,01

En general, utilizar doble inclinación es mejor y en vista de que la instalación fotovoltaica aplica todo el año y sólo se puede poner una inclinación, ésta será la de 60° pues es la más adecuada para captar el sol del invierno, que es cuando menos horas de luz tenemos, sin embargo debemos hacer los demás análisis a diferentes inclinaciones para estar seguro de que esta es la mejor opción.

Relación consumos/radiación para una inclinación $P = Ed/Gt (m^2 10^{-3})$												
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
15°	2331	997	880	721	655	568	515	542	724	984	1670	2602
45°	1890	810	814	743	733	662	591	575	693	839	1315	1890
60°	1851	801	849	818	843	781	694	647	751	845	1278	1786
15° y 60°	1851	801	849	721	655	568	515	542	724	845	1278	1786
Consumo anual $Ed = 3591$ Wh/día; Radiación media diaria (Gt)												

Una vez hecho el análisis, notemos que la condición más desfavorable resulta en una inclinación fija en la posición de 15° y luego una posición doble 15°-60°, con lo cual de haber seleccionado la inclinación fija de 60° habiéremos cometido un error en el diseño.

Dimensionado del Campo de Captación

Como datos necesitaremos:

- La potencia de captación de los paneles fotovoltaicos: para este caso usaremos 205 Wp (P_c en vatios pico).
- El área de los paneles (A) en m^2 . Utilizaremos unos de 1,62 m^2 .
- La tensión de trabajo será de 24 V

El rendimiento de los paneles vendrá determinada por la relación entre los vatios picos y el área del panel.

$$R_{panel} = \frac{P_c}{1000W/m^2 * A} = \frac{205W}{1000W/m^2 * 1,62m^2} = 0,126 = 12,6\%$$

La energía aprovechable por el panel es definida por su rendimiento, para conocer los metros cuadrados de paneles (S) necesarios diariamente para cubrir la demanda, dividiremos por la relación **consumos/radiación P** sobre la que aprovecha el panel por metro cuadrado ($Gt * R_{panel}$).

El factor 1,1 se aplica para compensar posibles pérdidas debidas a errores en la orientación, la limpieza de los paneles, conexiones, etc.

$$S = 1,1 * \left(\frac{P}{Rd * \rho} \right) = 1,1 * \left(\frac{515}{0,126} \right) = 4,72m^2$$

Para obtener los paneles N_p

$$N_p = \frac{S}{A} = \frac{4,72m^2}{1,62m^2} = 2,91 \approx 3$$

Si multiplicamos el número de paneles (N_p) por la potencia pico (P_c) de cada uno de ellos tendremos la potencia total (P_T) de nuestra instalación.

$$P_T = N_p * P_c = 3 * 205 = 615W$$

Dimensionado de las baterías

Datos necesarios para el dimensionado:

- Días de autonomía (D) =, al ser una instalación rural garantizaremos 3 días.
- Profundidad de descarga máxima (M) = 70 %
- Tensión de trabajo de la instalación (T) = 24 VDC
- La tensión de la batería (V_b) = 4 VDC

Para conocer el número de baterías (Nb), habrá que colocar tantos elementos en serie necesarios para sumar la tensión de trabajo de la instalación.

$$N_b = T / V_b = 24 / 4 = 6 \text{ Baterías.}$$

La capacidad de la batería bajo 100 horas de descarga continuada= 641Ah (C_{100})

$$C_{100} = 110 * \left(\frac{L_d * D}{T * M} \right) = 110 * \left(\frac{3590,5 * 3}{24 * 0,7} \right) = 641$$

Al comprobar la *corriente de carga* suministrada por los paneles notamos que son 25,62 A que es un 3,99 % de 641Ah, con lo cual estamos en un valor de 10% de la cantidad que corresponde a la capacidad de acumulación.

Por otro lado, la *corriente de descarga* estará en un rango inferior al 20% de la capacidad de acumulación, debido cargas pueden estar conectadas al mismo tiempo tendremos una corriente máxima de 101,8 A, que representa aproximadamente un 16 % de 641 Ah.

Dimensionado del Cableado

Para este aspecto como ya se ha mencionado ha de conocerse las tensiones y las corrientes de Trabajo , con estos datos iremos a las tablas y normativas en los códigos eléctricos, para el caso actual que aún desconocemos la ubicación de los elemento y no conocemos cual es la distancia entre el generador y el consumo, solo haremos referencia a lo formulado anteriormente. En cuanto a las caídas de voltaje, si se trabaja con conductores de cobre se aplica la siguiente fórmula para obtener su diámetro del cable (Ministerio de industria / Reglamento de Baja Tensión en España).

$$S_{cc} = \frac{1}{56} * \frac{L * I}{V * \Delta V}$$

S_{cc} = Es la sección mínima del cable en mm².

L = Es la longitud del cable (sólo ida), en metros.

I = Es la intensidad máxima, en amperios.

V = La tensión de trabajo, en voltios.

ΔV = La caída de tensión, en tanto por uno.

3.4 Problemas asociados a las instalaciones y almacenamiento de Energía

Selección del cableado.

En estas condiciones, si la sección del conductor no es la adecuada, las pérdidas podrían ser elevadas. Estas pérdidas, derivadas de la resistencia, se producen en forma de calor y pueden dar problemas en la instalación, destruir los cables o incluso originar incendios.

Almacenamiento.

Los problemas típicos en el almacenaje de energía vienen a darse en los sistemas aislados a red, en las baterías; estos dependerán de la batería empleada, a continuación de denotan los más relevantes.

Altas temperaturas.

Al aumentar la temperatura ambiente del recinto donde se encuentran los acumuladores, la acción química de estas se acelera, disminuyendo el valor de la resistencia interna, dejando como consecuencia la reducción de la vida útil al acelerarse el desgaste de la superficie activa de los electrodos.

Sulfatación de las Baterías.

Muy común cuando se utilizan baterías de plomo ácido con electrolito líquido, si se somete a un tiempo prolongado a un estado de descarga profunda se producirá su sulfatación. Si el sulfato de plomo que se origina al combinarse parte del sulfuro del ácido con el plomo recubren las placas de forma que el electrolito no pueda penetrar en ellas, esto supondrá una pérdida irreversible.

Gasificación.

Durante el proceso de carga de la batería plomo ácido, cuando se esa completando el proceso, el material activo escasea y la energía que aporta la corriente eléctrica produce la hidrólisis o ruptura de la molécula de agua, liberando oxígeno e hidrógeno, este proceso produce un burbujeo en el electrolito conocido como gasificación.

Autodescarga

Una batería cargada que permanezca inactiva, independiente de su tipo, pierde su carga con el tiempo, este fenómeno se llama auto descarga, en ocasiones es tan nociva que provoca la inoperatividad de la batería al someterse a periodos largos de descarga profunda; el tiempo de auto descarga dependerá principalmente de la tecnología de manufactura de la batería y del ambiente que donde la batería, los climas calurosos aumentaran el efecto de auto descarga.

Problemas asociados a los módulos fotovoltaicos.

Los más frecuentes son:

Rotura del vidrio

Se produce generalmente por acciones del exterior, ya sean impactos de cualquier índole (piedras, granizo), durante su instalación o durante el transporte hacia la obra; la rotura del cristal, al ser templado, se produce siempre en forma de astillado total de la superficie, notándose fácilmente donde se produjo el impacto, el astillado reduce en un 30% el rendimiento del panel aunque puede seguir funcionando.

Figura 3.10: Rotura de vidrio



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

Penetración de humedad en el interior del modulo

Puede producirse por golpes externos o ralladuras en el TEDLAR, cuando la humedad penetra hasta el circuito de las células y sus conexiones, se notan corrosiones que reducen e incluso rompen el contacto eléctrico de los electrodos con el material de las células, imposibilitando el paso de electrones e inutilizando esta célula o el modulo entero cayendo la tensión y la corriente a cero, debiendo sustituirse inmediatamente, hemos de notar que durante una inspección se observen degradaciones serias de este tipo es preferible su sustitución antes de que se produzca la inutilización completa del mismo.

Efecto Sombra

El efecto sombra o punto caliente se produce por una sombra puntual en una o varias células del modulo mientras el resto recibe una radiación elevada, esta situación debe remediarse de ser posible, eliminando la causa de la sombra, para evitar este tipo de deterioros se colocan los diodos de paso.

Defectos de fabricación

Raramente ocurre que un modulo salga con defectos en su fabricación, ya que estos han de pasar rigurosos sistemas de pruebas y exhaustivos controles de calidad, no obstante, estos suelen detectarse los primeros días de funcionamiento.

Factores climatológicos

Lluvia

Este elemento de diversas intensidad y duración suelen presentar diversos inconvenientes en cuando al modulo fotovoltaico y la instalación en si, ya que ha de tomarse en cuenta para el dimensionado de los drenajes en la zona o emplazamiento para evitar posibles inundaciones que puedan provocar corrosión y posibles deterioros a los equipos, los módulos vienen provistos de pequeños orificios laterales para facilitar el drenaje y eliminar el riego de acumulación.

Granizo

En los lugares donde puedan precipitarse este elemento, el granizo suele ser muy negativo por los daños que puede producir, aunque es poco probable que este llegue a romper el vidrio, ya que tendrá que ser una granizada de bastante intensidad o con granizo de dimensiones importantes, conocer si en el emplazamiento existe la posibilidad de este tipo de precipitación nos permitirá a la hora del diseño y de la elección del panel, adquirir módulos con vidrio templado de más de 6 mm de espesor debido a que este es capaz de resistir el impacto de una esfera de acero de 500 grs dejada caer desde una altura de 2 metros.

Vientos Fuertes

En los módulos de energía fotovoltaica un viento de bastante intensidad podrá hacer volar el modulo y el soporte con el riesgo de provocar daños materiales y personales, para ello deberán tomarse las medidas necesarias de sujeción y de elementos que permitan que el viento circule entre los módulos.

Rayos

Las probabilidades de que se produzca la descarga atmosférica directamente sobre una estructura del generador fotovoltaico es muy remota, sin embargo, cuando sea posible y la instalación lo permita, colocar dispositivos auxiliares como los pararrayos que logren desviarlos hacia una puesta a tierra específica.

Nieve

La nieve en si no representa un alto riesgo para el captador solar debido a que solamente mermara la eficacia ya que esta, al depositarse de acumulara en el sitio donde cae provocando en

algunos casos un efecto sombra.

Calor Extremo

Los captadores solares están preparados para trabajar a altas temperaturas sin sufrir daños pero al estar a temperaturas mayores de 25 °C, perderán eficacia progresivamente a medida que esta aumente.

Frio Extremo

Los módulos Fotovoltaicos así como los equipos electrónicos poco les afectan la baja temperatura, caso contrario a las baterías ya que el electrolito podría congelarse y producir daños en el acumulador, por ello, seleccionar la mejor opción durante el diseño evitara que los niveles de descarga sean excesivamente bajos en los momentos del frio intenso.

4 — ENERGÍA EÓLICA

INTRODUCCIÓN

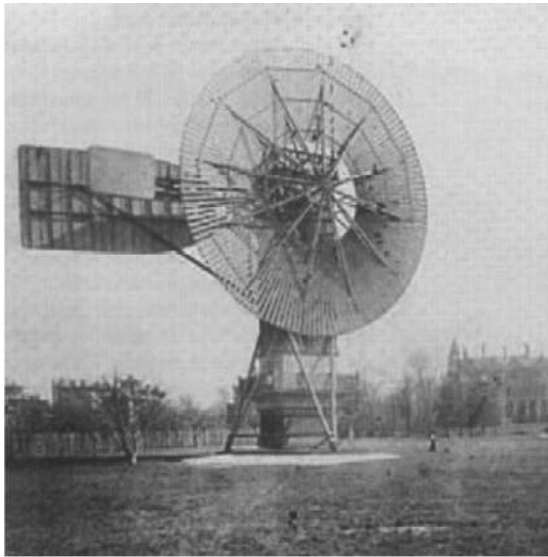
La energía eólica está disponible en casi todo el mundo, a pesar de tener diferencias regionales considerables en su potencial, hoy en día su explotación es de alto interés dentro de contexto energético mundial

El empleo de la energía del viento se remonta a la antigüedad de la humanidad en actividades como la navegación, producción de energía mecánica para molienda del grano, bombeo de agua e irrigación principalmente. Aunque los registros históricos son limitados en este campo se conoce los primeros usos del viento como forma de energía fueron encontrados en el antiguo Egipto, los chinos también usaron molinos denominados "panémonas" para bombear agua; pero no fue hasta el año 850 en la Persia antigua que se obtiene una referencia fiable y formal en el Libro de Ingenios Mecánicos de los hermanos Banu Musa del empleo y diseño de molinos que aprovechen el viento como fuente de energía mecánica.

Para el siglo XVIII la presencia de molinos de viento formaba parte del paisaje de toda Europa, estos sistemas fueron evolucionaron y mejorando principalmente en sus elementos mecánicos hasta finales del XIX donde se empieza a fabricar el "molino de bombeo americano", logrando ser el de mayor aceptación y circulación hasta nuestros días.

Fue hasta finales del siglo XIX y principios del siglo XX, gracias a los trabajos de Brush (1846-1908) en EEUU, Lecour (1844-1924) en Dinamarca, Betz (1885-1968) en Alemania, entre otros (Figura 4.1); que se logra el despegue del desarrollo tecnológico y comercial de turbinas eólicas que permitían la conversión de la energía del viento a electricidad.

Figura 4.1: Trabajos sobre Energía eólica



Turbina Eólica Brush.
1887



Aerogenerador Poul la Cour.
1897

En la actualidad la energía eólica representa una de las fuentes energéticas más rentables y con grado tecnológico maduro y confiable dentro del contexto de las energías renovables; su evolución en los últimos años de la capacidad mundial de producción de energía eólica instalada, demuestra que hoy en día se la puede considerar competitiva en comparación a las fuentes tradicionales de producción energética

Objetivo del Capítulo IV

- Identificar variables y parametros basicos que permiten describir el comportamiento del viento en la atmosfera
- Calcular y cuantificar el potencial energético de un emplazamiento.
- Describir los elementos básicos de los sistemas de aprovechamiento de energía eólica, y especialmente del proceso de transformación de la energía del viento
- Comprender e Identificar los componentes principales de un sistema de generación eólica
- Diferenciar las variables básicas en el diseño de palas de los aereogeneradores
- Seleccionar y explicar los sistemas de generación eolica en función de necesidades locales

4.1 Formación y Circulación del Viento

Origen del Viento

Se considera viento a toda masa de aire en movimiento. Dicho movimiento se ocasiona por la existencia de un gradiente de presión en la atmosfera originado por las diferencias en la irradiación solar que recibe la Tierra a lo largo de sus diferentes latitudes.

En otras palabras el viento surge como consecuencia del desigual calentamiento de la superficie terrestre y la atmosfera, en donde las masas de aire más caliente tienden a ascender, y su lugar es ocupado entonces por las masas de aire circundante, más frío y con menor densidad.

Es importante destacar que la variación de la presión con la altura no da lugar a movimientos verticales de aire considerables, pues cualquier variación de presión será compensada por la acción de la fuerza de la gravedad dirigida hacia abajo. (equilibrio hidrostático). Por lo tanto se conoce como "viento" a la corriente de aire que se desplaza en sentido horizontal y puede ser caracterizado por dos parámetros: la dirección en el plano horizontal y la magnitud de la velocidad.

Circulación del Aire en la Atmosfera

La Tierra funciona como una gran máquina térmica que transforma parte del calor solar en la energía cinética del viento a escala global en donde Los trópicos y las latitudes más bajas de la tierra son las regiones que reciben mayor energía solar, mientras que las latitudes más altas y los polos son las regiones con un balance energético negativo, es decir, aquí la Tierra pierde energía a través de la radiación térmica. Adicionalmente las corrientes oceánicas y la conducción del calor atmosférico no son suficientes para compensar esta diferencia de calentamiento del globo por lo que se producen intercambios térmicos entre las zonas más calientes y las más frías. Para restablecer el equilibrio: el aire caliente se desplaza hacia los polos y el aire frío hacia el ecuador.

El aire en movimiento se ve afectado por la fuerza de rozamiento, por la aceleración centrípeta y la fuerza de Coriolis que aparece como consecuencia del movimiento de rotación de la Tierra, provocando desviaciones en el sentido del viento hacia la derecha en el Hemisferio Norte y hacia la izquierda en el Hemisferio Sur. (figura 4.2)

Finalmente el efecto de Coriolis divide el flujo directo de aire entre el ecuador y los polos en tres regiones o celdas de circulación en cada hemisferio¹:

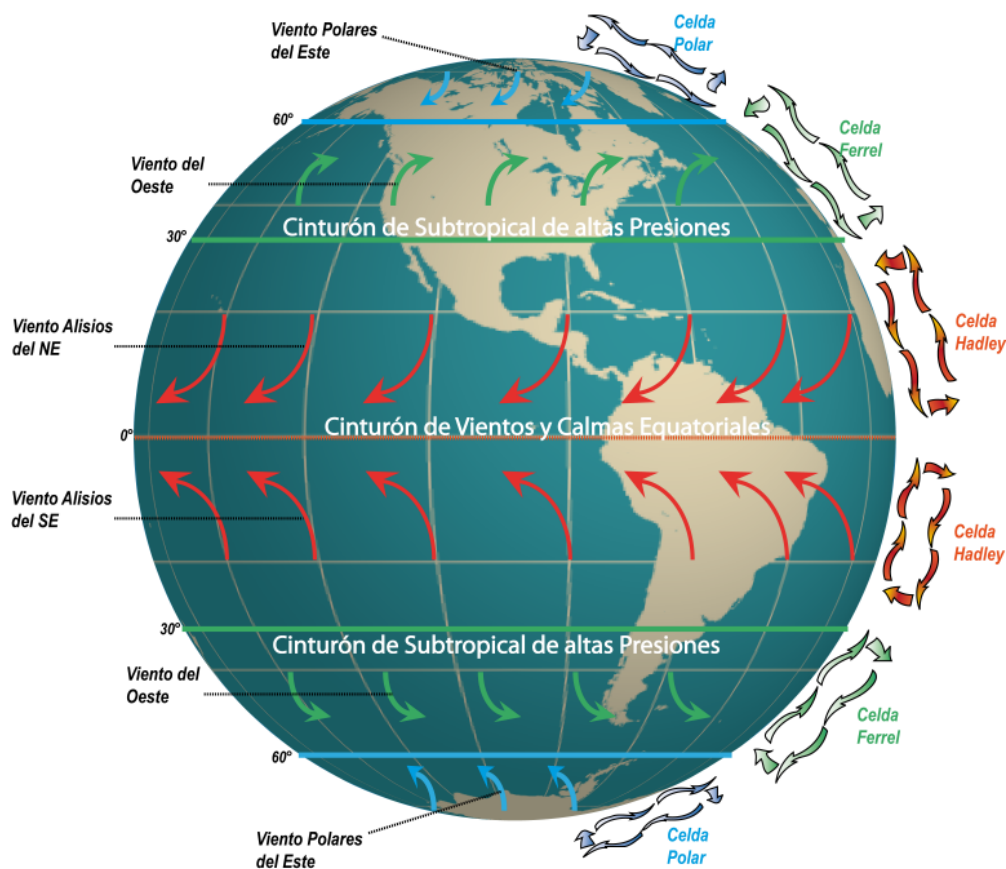
- La celda ecuatorial o de Hadley, en esta región se forma los denominados vientos alisios
- La celda de latitudes medias o de Ferrel
- La celda del frente Polar

Cuadro 4.1: Dirección Predominante del Viento

Celda	Latitud	Dirección
Polar	90-60°N	NE
Ferrel	60-30°N	SO
Hadley	30-0°N	NE
Hadley	0-30°S	SE
Ferrel	30-60°S	NO
Polar	60-90°S	SE

¹Si la Tierra no girara la celdas de Hadley irían del Ecuador a cada polo respectivamente

Figura 4.2: Circular General del Aire en la Tierra



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

4.1.1 Efectos Locales

Los vientos generales que circundan el globo terrestre se llaman macro climáticos y su caracterización no es suficiente para un análisis y empleo de la energía del viento en un emplazamiento, por cuanto existen factores locales como orografía del terreno, diferencias de presión, entre otras; que modifican las características del viento a escala local. Este tipo de viento se denomina micros climáticos o locales. Incluso existen ciertas regiones del mundo donde los vientos locales apantallan totalmente a los generales.

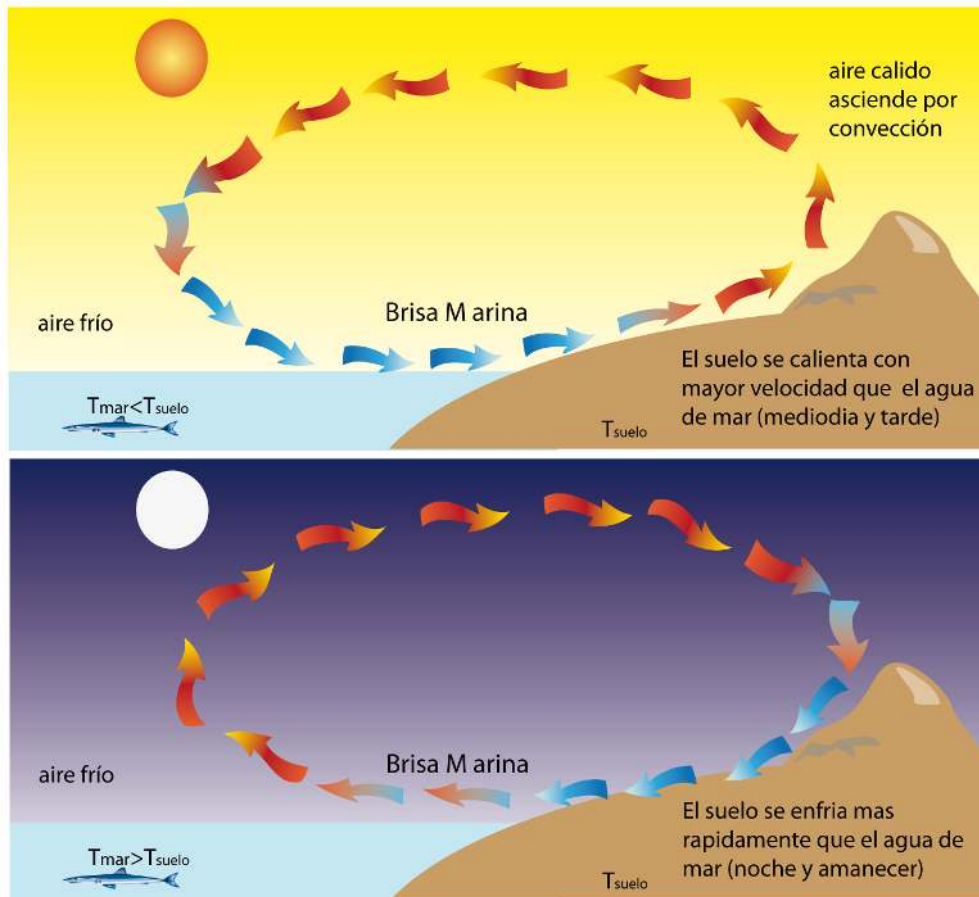
Los efectos locales pueden tener los orígenes:

- Origen térmico:

- **Brisas Marinas:** Se forma por los diferentes calores específicos existentes y la diferencia en la velocidad de calentamiento de la tierra y la superficie del mar. El viento sopla hacia tierra durante el día, siendo el sentido contrario durante la noche.
- **Viento de Valle-Montaña:** Se produce por un proceso bastante parecido. Unas laderas reciben más insolación que otras, en función de su pendiente y orientación espacial. Durante el día se forman flujos de aire ascendentes que van desde el valle a la montaña, en la noche se producen vientos descendentes que va desde la montaña al valle.

Los vientos que se originan por efectos térmicos no poseen un potencial energético considerable para su explotación, salvo en aquellos emplazamientos que presente una regularidad temporal en el viento local.

Figura 4.3: Formación de Brisa



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

■ Origen geográfico

Los vientos inducidos por la orografía dependen del obstáculo y su orientación típicamente zonas montañosas, acantilados, entre otras distribuciones orográficas pueden dar lugar a la formación de vientos con un potencial energético que puede ser de interés. A partir del teorema de Bernoulli, podemos determinar que la velocidad de viento aumentará cuando la sección del canal formado por dos elevaciones por donde se desplaza el aire se reduce.

En resumen, los factores que pueden afectar el comportamiento del viento en un emplazamiento determinado, son:

1. Situación geográfica.
2. Características climáticas locales.
3. Topografía de la zona.
4. Irregularidades del terreno.

4.2 Caracterización del Recurso Eólico

Desde el punto de vista de la energía eólica, la característica más importante de estudio del viento como recurso es su variabilidad. El viento es muy variable, tanto geográfica como temporalmente. Además esta variabilidad persiste en un amplio rango de escalas, tanto espacial y temporal que puede afectar en:

- El Potencial disponible y la estimación la rentabilidad económica de la instalación.
- Producción energética de la explotación eólica.
- Emplazamiento o ubicación más adecuada.
- Vida útil del sistema por el efecto de la turbulencia, ráfagas, tormentas, entre otras

Potencial del Viento

Se estima que un 2 % de la energía solar incidente que llega a la Tierra se convierte en energía eólica. En teoría, los vientos distribuyen anualmente entre $(2,5- 5) \times 10^5$ kWh en todo el globo. Finalmente el potencial de energía, estará en función de la hora del día, del día del año, de la ubicación y de relieve del emplazamiento.

Las actividades exploratorias del potencial de recurso eólico, se inician preliminarmente evaluando la información recabada por los Servicios Meteorológicos Nacionales. Hay que considerar que la información sobre el viento a ser analizada, proviene de una red anemométrica con fines meteorológicos y no energéticos, la importancia de esta información radica en establecer un marco general que muestra las zonas de mayor interés posible así como proporcionar información específica de estacionalidad, direcciones predominantes, entre otras.

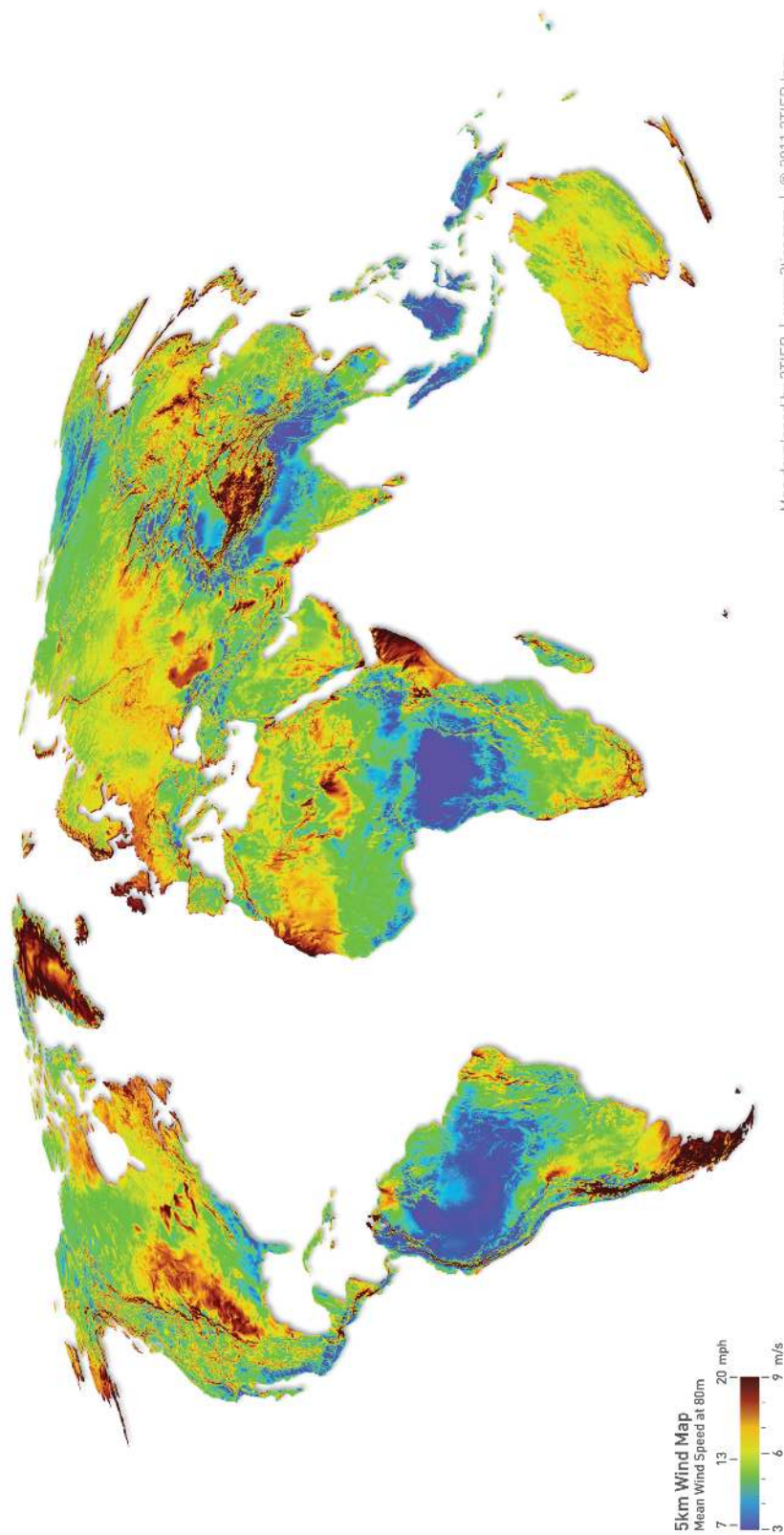
Actualmente una de las fuentes de información referencial son las bases de datos y atlas de recursos existentes en la red, estos portales cuenta con mapa de velocidad de viento o potencial a diferentes alturas de interés y con registros históricos promediados ya sean en días o meses.

Las principales fuentes de datos internacionales y mapas de recurso eólico son :

- Surface meteorology and Solar Energy (NASA): <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi?>
- International Renewable Energy Agency (IRENA): <http://www.irena.org/globalatlas/>
- National Renewable Energy Laboratory (NREL): <http://www.nrel.gov/gis/mapsearch/>

Figura 4.4: Atlas Mundial de Velocidad Viento a 80 m

 Global Mean Wind Speed at 80m 



Adicionalmente existentes software comerciales que permiten el diseño y planificación de parques eólicos a partir de registros de estaciones meteorológicas o entre los más utilizadas están el WASP y el WINDPRO,

Particularmente en el Ecuador no existe una metodología adecuada para el inventario de recursos eólicos, aunque mediante datos meteorológicos se han identificado algunas regiones con velocidades medias superiores a 5 m/s, principalmente en lugares específicos dentro de microzonas de la región interandina y la región costera. En el 2013 Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) presentó el primer *Atlas Eólico del Ecuador*, con fines de generación. Se puede descargar el mismo en la dirección <http://190.152.98.92/PORTAL/mapa.rar>

Instrumentos de Medición de Viento

La velocidad del viento es un vector, que está definido por un módulo, dirección y sentido. El módulo indica la intensidad del viento y se suele expresar en m/s, km/h o en nudos (1 nudo=0,514 m/s). La velocidad del viento también se puede indicar en unidades de la escala de Beaufort que hace uso de fenómenos naturales familiares que se relacionan con diferentes velocidades del viento.

Cuadro 4.2: Escala Beaufort de fuerza del viento para informar viento de superficie.

Número Beaufort	Descripción	Velocidad del viento [Nudos]	Equivalente [m/s]	Especificaciones para observaciones sobre suelo firme
0	Calma		0 - 0.2	Calma, el humo sube verticalmente.
1	Ventolina	1 - 3	0.3 - 1.5	Se define la dirección del viento por el humo, pero por veletas
2	Brisa suave	4 - 6	1.6 - 3.3	El viento se siente en la cara; se mueven las hojas de los árboles; el viento mueve las veletas.
3	Brisa leve	7 - 10	3.4 - 5.4	Las hojas y ramas pequeñas se hallan en constante movimiento
4	Brisa moderada	11 - 16	5.5 - 7.9	Se levanta polvo y papeles sueltos; se mueven las ramas pequeñas de los árboles.
5	Brisa fresca	17 - 21	8.0 - 10.7	Se mueven los árboles pequeños; se forman pequeñas olas en estanques y lagunas.
6	Brisa fuerte	22 - 27	10.8 - 13.8	Se mueven las ramas grandes de los árboles; silban los cables telegráficos; los paraguas se utilizan con dificultad
7	Viento fuerte	28 - 33	13.9 - 17.1	Todos los árboles se mueven es difícil caminar contra el viento.
8	Temporal	34 - 40	17.2 - 20.7	Se rompen las ramas delgadas de los árboles; generalmente no se puede andar contra el viento.
9	Temporal fuerte	41 - 47	20.8 - 24.4	Se producen pequeños daños los edificios, (se caen los sombreros de las chimeneas, las tejas de los techos, etc.)
10	Temporal Violento	48 - 55	24.5 - 28.4	Se experimenta raramente en violento tierra adentro; se arrancan árboles; se producen considerables daños
11	Temporal muy Violento	56 - 63	28.5 - 32.6	Se experimenta muy raras veces; ocasiona daños generales por doquier.
12	Huracan	>64	32.7 y más	

Dentro de la producción de energía eólica se define como rafaga al aumento brutal y de corta duración de la velocidad del viento (típicamente en tormentas o borrascas) y “calma” como la velocidad de viento por debajo de la cual el aerogenerador no produce energía y del tipo de aerogenerador que se seleccione.

La dirección y el sentido se expresan en grados sexagesimales a partir del norte verdadero en sentido horario, significando “de donde viene el viento”. A nivel internacional la dirección del viento se informa en grados, apreciando con aproximación a los diez grados más cercanos. Otra escala de dirección del viento está basada en puntos de brújula (8, 16 ó 32 divisiones).

Cuadro 4.3: Dirección del Viento

<i>Dirección de la brújula</i>	<i>Equivalente en grados</i>	<i>Sector en grados</i>	<i>Dirección de la brújula</i>	<i>Equivalente en grados</i>	<i>Sector en grados</i>
N	360	355-5	S	180	175-185
NE	11.25	6-16	SW	191.25	186-196
NNE	22.5	17-28	SSW	202.50	197-208
NEN	33.75	29-39	SWS	213.75	209-219
NE	45.00	40-50	SW	225.00	220-230
NEE	56.25	51-61	SWW	236.25	321-241
ENE	67.50	62-73	WSW	247.50	242-253
EN	78.75	74-84	WS	258.75	254-264
E	90.00	85-95	W	270.00	265-275
ES	101.25	96-106	WN	281.25	276-286
ESE	112.50	107-118	WNW	292.50	287-298
SEE	123.75	119-129	NW'W	303.75	299-309
SE	135.00	130-140	NW	315.00	310-320
SES	146.25	141-151	NWN	326.25	321-331
SSE	157.50	152-163	NNW	337.50	332-343
SE	168.75	164-174	NW	348.75	344-354

Los instrumentos cuyos sensores miden el flujo del aire se llaman **anemómetros**, entre cuales tenemos:

- Anemómetros de rotación: cazoletas (más común), hélices, canalones, entre otros.
- Anemómetros de presión: Dines, Best Romani, entre otros.

Además existen en el mercado: anemómetros de hilo caliente, los de efecto sónico, anemómetros láser, anemómetros SODAR de efecto Doppler, anemómetros de ultrasonidos, entre otros.

Figura 4.5: Tipos de Anemómetros



Anemómetro de Cazoletas



Anemómetro de Presión



Anemómetro Ultrasonico

La **veleta** es un dispositivo montado sobre un eje vertical y de giro libre, de tal modo que puede moverse cuando el viento cambia de dirección y que se acopla a la estación de medición.

Básicamente la presión del viento es aplicada a la lámina metálica del lado de barlovento del eje que pivotea, la veleta tiende a orientarse de manera tal que apunta por sí sola hacia la dirección de la cual proviene el viento.

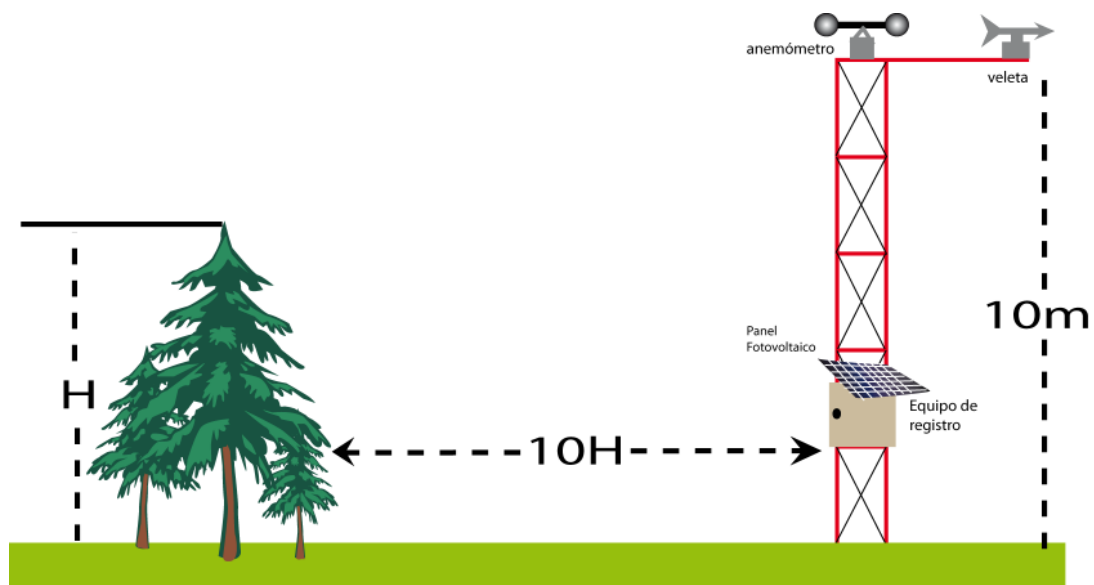
Figura 4.6: Veleta



Instalación del sistema de Medición de Viento

Para la instalación del anemómetro, es necesario fijar las condiciones de emplazamiento despejado, a fin de obtener medidas representativas de la zona, es decir que todo obstáculo deben estar a cierta distancia de la base del estructura de medición, Hay que tomar en cuenta que las normas meteorológicas establecen la medición del viento a 10 m sobre el suelo en terreno abierto o llano, que se define como una zona en donde la distancia entre el anemómetro y cualquier otro obstáculo es al menos diez veces la altura del obstáculo.

Figura 4.7: Esquema de Instalación de una torre de medición



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

Las estaciones con fines energéticos para determinar la factibilidad de un proyecto eólico, deben registrar al menos los parámetros de velocidad del viento a ciertas alturas como 10, 20 y 30 m, dirección del viento, densidad del aire, temperatura ambiente y presión atmosférica.

4.2.1 Perfiles de Velocidad de Viento

Cuando se habla del potencial eólico de una emplazamiento es necesario especificar la altura sobre el terreno a la que se refiere, ya que el viento varía su velocidad con la altura debido al rozamiento que genera la superficie terrestre.

Existen un conjunto de expresiones teóricas que permiten determinar los perfiles de temperatura de velocidad de viento según la altura de análisis. La más común de las expresiones es la ley de potencial de Hellman, que es utilizada para relacionar la velocidad del viento en alturas distintas al contar con la velocidad para cierto nivel de referencial. Esta ley es empírica y su validez está generalmente limitada a las más bajas elevaciones de la atmósfera, y se expresa como:

$$V = V_0 \left[\frac{H}{H_0} \right]^a$$

Donde V es la velocidad a la altura H, V_0 es la velocidad a la altura referencial, típicamente H_0 es a una altura de 10m, finalmente el coeficiente alfa es el exponente de Hellmann que varía con la rugosidad del terreno.

También se puede utilizar la aproximación logarítmica que depende de la rugosidad del terreno (Z_0). Su formulación se basa en criterios teóricos y semi-empíricos y es válida sobre un gran rango de altitudes e incorpora el fenómeno de estabilidad atmosférica, y se expresa como:

$$V = V_0 \left[\frac{\ln\left(\frac{H}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{H_0}{Z_0}\right)} \right]$$

Cuadro 4.4: Valores típicos del Coeficiente alfa y Rugosidad de Terreno

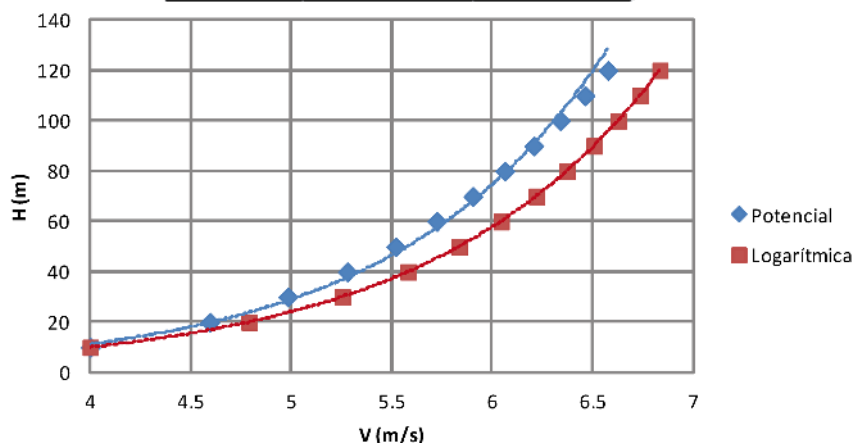
Tipo terreno	α	z_0 (m)
Liso (mar, arena, nieve)	0.10-0.13	0.001-0.02
Moderadamente rugoso (hierba, campos cereales, regiones rurales)	0.13-0.20	0.02-0.3
Rugoso (bosques, barrios)	0.20-0.27	0.3-0.2
Muy rugoso (ciudades, altos edificios)	0.27-0.40	2-10

Ejemplo de Cálculo

Conociendo que la velocidad media anual de un emplazamiento es 4 m/s, registrada a una altura de 10 m, Grafique el perfil de velocidad del viento hasta una altura de 120m, empleando la ley potencial y logarítmica. (Utilice un coeficiente de Hellman de 0.20 y la rugosidad del terreno 0.3 m)

Figura 4.8: Ejemplo de Cálculo del perfil de velocidad del viento

Altura (m)	Velocidad (m/s)	
	Potencial	Logarítmica
10	4	4
20	4.6	4.8
30	5.0	5.3
40	5.3	5.6
50	5.5	5.8
60	5.7	6.0
70	5.9	6.2
80	6.1	6.4
90	6.2	6.5
100	6.3	6.6
110	6.5	6.7
120	6.6	6.8



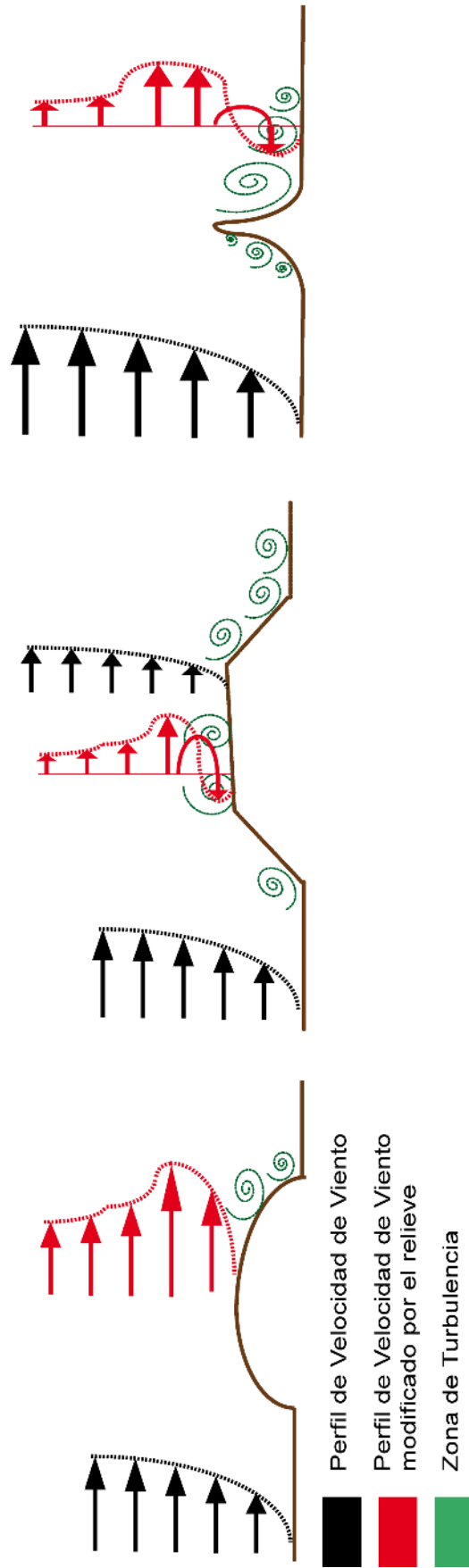
Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

A nivel internacional ambas expresiones son válidas en aplicaciones de Ingeniería, debido principalmente a su poca diferencia en la estimación de los valores de velocidad.

Adicionalmente es necesario. Se define como ráfaga al aumento brutal y de corta duración de la velocidad del viento (típicamente en tormentas o borrascas) y “calma” como la velocidad de viento por debajo de la cual el aerogenerador no produce energía y del tipo de aerogenerador que se seleccione.

Hay que considerar que la intensidad del viento está influenciada por las características topográficas del terreno o construcciones existentes. El perfil de variación de los vientos con la altura puede cambiar sustancialmente su forma dependiendo del tipo de terreno. Estas variaciones pueden originar cambios importantes en la magnitud de la velocidad, o pueden presentarse turbulencia, afectando la dirección del viento (Figura 4.9). Finalmente la fuerte dependencia de la intensidad del viento de la altura hace muy difícil hacer comparar el recurso eólico en diferentes lugares. Todas las indicaciones sobre las intensidades del viento a nivel del suelo sólo pueden ser consideradas como puramente orientativas.

Figura 4.9: Influencia del relieve del terreno sobre la velocidad del viento



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

4.3 Tratamiento de la información meteorológica

En este apartado se describen algunas de las técnicas o metodologías para el tratamiento estadístico de los datos de viento registrados por un estación meteorológica dentro de la evaluación del aprovechamiento energético eólico en un emplazamiento; para lo cual habrá que considerar cada uno de los siguientes aspectos

1. Condiciones generales del viento en un emplazamiento (medias diarias, estacionales, anuales)
2. Datos de 10 minutos a 1 hora de promedio de la estación:
 - Condiciones meteorológicas (temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, densidad del aire)
 - Distribución de frecuencias de dirección.
 - Variación temporal de la velocidad.
 - Potencial eólico disponible.

Se define como rafaga al aumento brutal y de corta duración de la velocidad del viento (típicamente en tormentas o borrascas) y “calma” como la velocidad de viento por debajo de la cual el aerogenerador no produce energía y del tipo de aerogenerador que se seleccione.

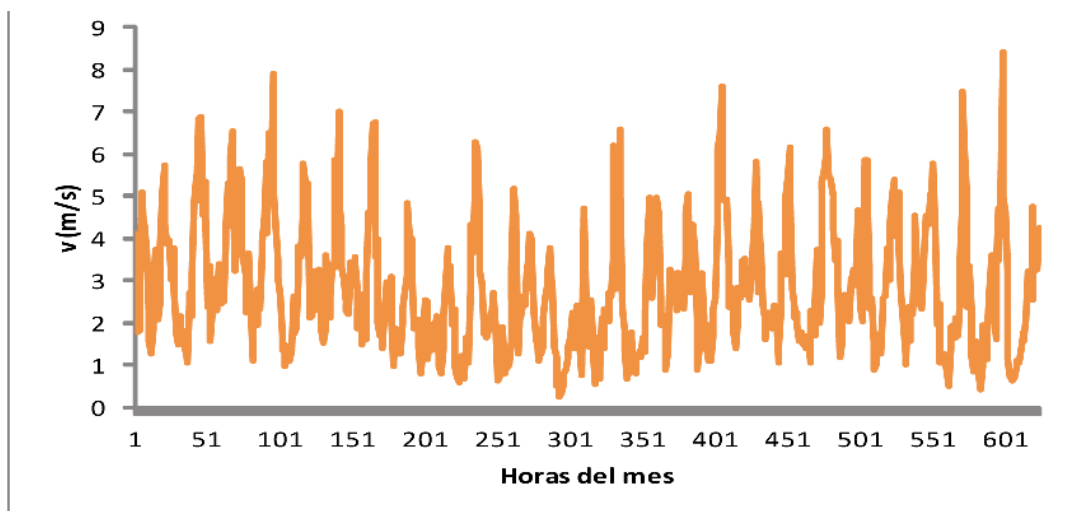
El viento puede presentar fuertes variaciones, tanto temporalmente como espacialmente, por lo que va a ser necesario caracterizarlo mediante medidas del mismo, y cálculo de valores estadísticos en un periodo de tiempo establecido por lo que típicamente se realizan dos estudios basados en distribuciones temporales y distribuciones de frecuencia.

Distribuciones temporales

A partir del análisis de la series temporales de los registros de los datos históricos se puede determinar información relacionada al comportamiento variacional del viento (figura 4.10)

Las figuras 4.11 , 4.12 , 4.13 fueron realizadas a partir de los registros diezminutales de la estación meteorológica ubicada en la Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil-Ecuador

Figura 4.10: Evolución temporal de la velocidad registrada del viento hora a hora para un mes



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

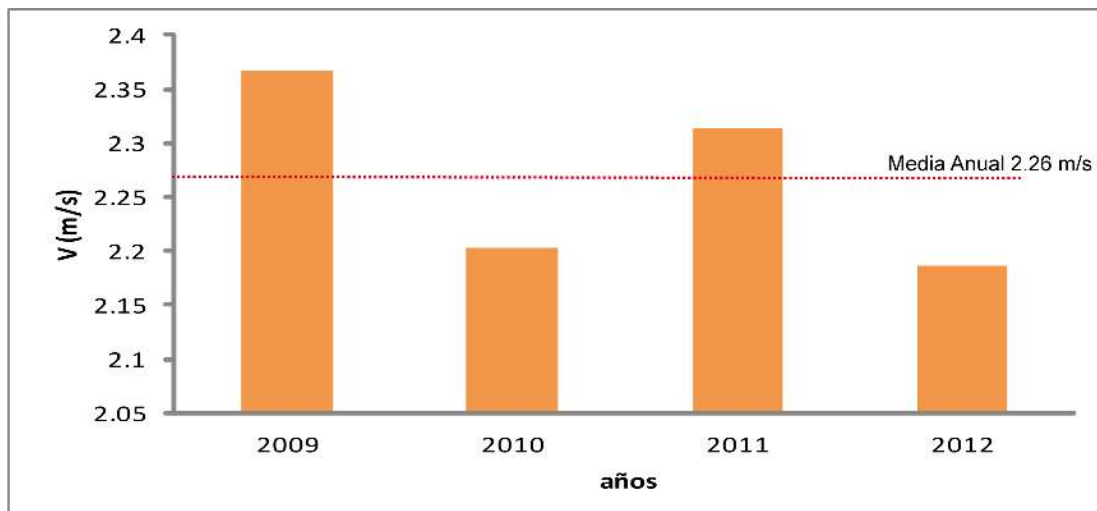
Los valores que más se emplean son:

Variación interanual de la velocidad media del viento: El valor medio del viento aporta una primera aproximación del valor anual de la potencia media por unidad de área expuesta al viento.(Figura 4.11)

Variación de las velocidades medias mensuales a lo largo de un año: Los valores medios mensuales nos darán información sobre las variaciones estacionales de la velocidad en el emplazamiento. (Figura 4.12)

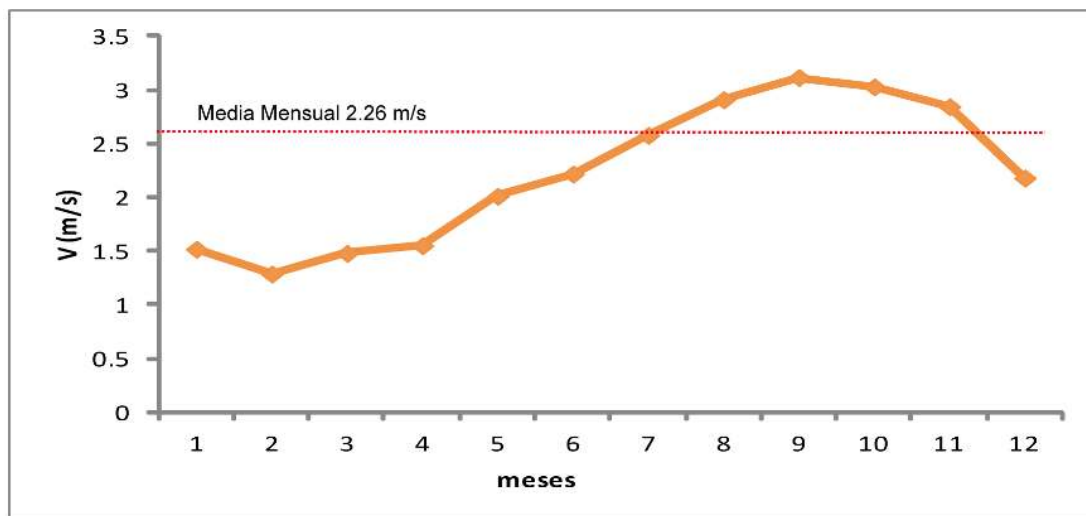
Variación media diaria del viento en un período dado: Las variaciones de viento lo largo del día , lo que permitirá conocer la complementariedad de la energía eólica con otras fuentes de energía. (Figura 4.13)

Figura 4.11: Evolución de las velocidades medias anuales



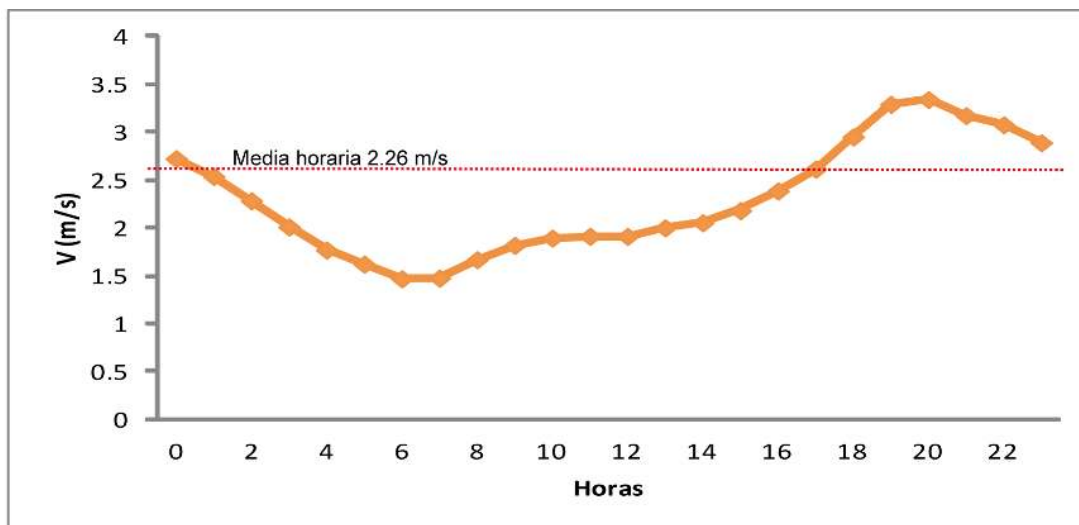
Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

Figura 4.12: Evolución de las velocidades medias anuales



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

Figura 4.13: Evolución de las velocidades medias horarias



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

Distribución de Frecuencias

Además de los valores promedios en diferentes escalas temporales, otra representación estadística empleada es la distribución por rumbos de las direcciones y la distribución por frecuencias de las velocidades. La información de las direcciones predominantes desde donde viene el viento, es fundamental a la hora de seleccionar la ubicación de los aerogeneradores en el emplazamiento. La representación más utilizada de la distribución direccional de los vientos es la denominada “rosa de vientos”, en la que se representa el porcentaje de tiempo o número de veces en que el viento proviene de una determinada dirección.

Cuadro 4.5: Distribución de la dirección del viento para la Estación ESPOL

Direcciones	Velocidad						Total
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	>10	
N	5068	749	23	1			5841
NNE	4332	559	19	2			4912
NE	3334	562	23				3919
ENE	4722	812	38	2			5574
E	3972	730	43	1			4746
ESE	6421	1515	157	3			8096
SE	5739	1677	182	16	1		7615
SSE	8188	3570	613	87	19		12477
S	8140	7008	2400	573	132	15	18268
SSO	12994	17401	9279	3168	791	121	43754
SO	9574	12605	6186	1909	416	65	30755
OSO	10548	8205	2488	546	89	12	21888
O	8904	3389	555	57	6		12911
ONO	11234	2362	200	13			13809
NO	6947	1127	34				8108
NNO	6596	995	30	3			7624
Total	116713	63266	22270	6381	1454	213	210297

Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

En la rosa de viento de la figura 4.14 se puede observar que existen el cuadrante Sur-Oeste presenta las direcciones predominantes desde donde sopla el viento.

Además de las distribuciones de la velocidad del viento en la escala temporal o direccional es importante conocer el número de horas por mes o por año durante las cuales ocurre una determinada velocidad del viento, es decir, la distribución de frecuencias de la velocidad del viento por medio de un histograma, para lo cual primero dividimos el dominio de la velocidad del viento en un número de intervalos (bins), típicamente el valor es de 1 m/s. Entonces se procede a calcular el porcentaje de veces en que la velocidad del viento sopla en cada intervalo. La representación de dichas frecuencias constituye el histograma de frecuencias

En el cuadro 4.6 se muestra una tabla de valores, y los resultados de cálculo para la obtención del histograma de frecuencia, para la estación de la ESPOL.

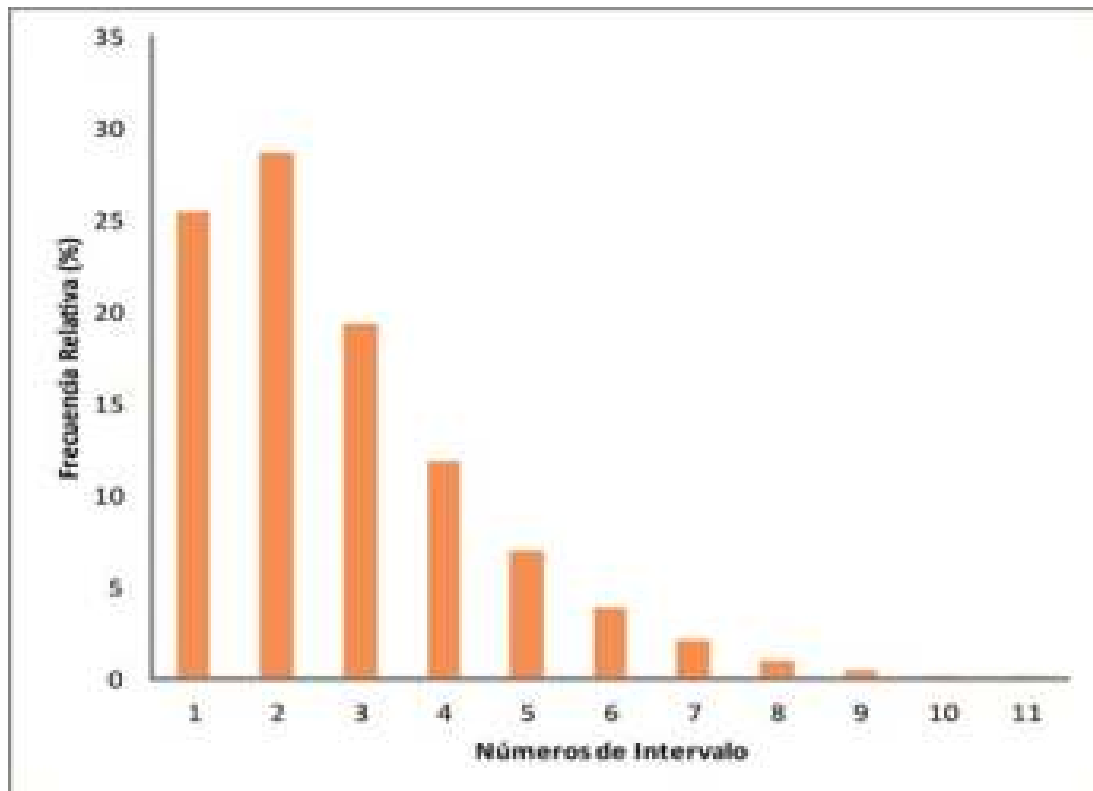
Cuadro 4.6: Frecuencias de Velocidad

Valor (vi)	Intervalo (bin)	Frecuencia de Clase (fc)	Frecuencia Relativa (fr) fc/N	Frecuencia Relativa Porcentual (fr%) $100*fr$	Frecuencia Acumulada (fa) $\sum fr\%i$
1	1-2	59242	0.254	25.446	0.254
2	2-3	66756	0.287	28.674	0.541
3	3-4	45006	0.193	19.331	0.735
4	4-5	27674	0.119	11.887	0.853
5	5-6	16173	0.069	6.947	0.923
6	6-7	9002	0.039	3.867	0.962
7	7-8	4818	0.021	2.069	0.982
8	8-9	2371	0.010	1.018	0.992
9	9-10	1102	0.005	0.473	0.997
10	10-11	422	0.002	0.181	0.999
11	11-12	168	0.001	0.072	1.000
12	12-13	59	0.000	0.025	1.000
13	13-14	16	0.000	0.007	1.000
14	14-15	3	0.000	0.001	1.000
	N	232813			

Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

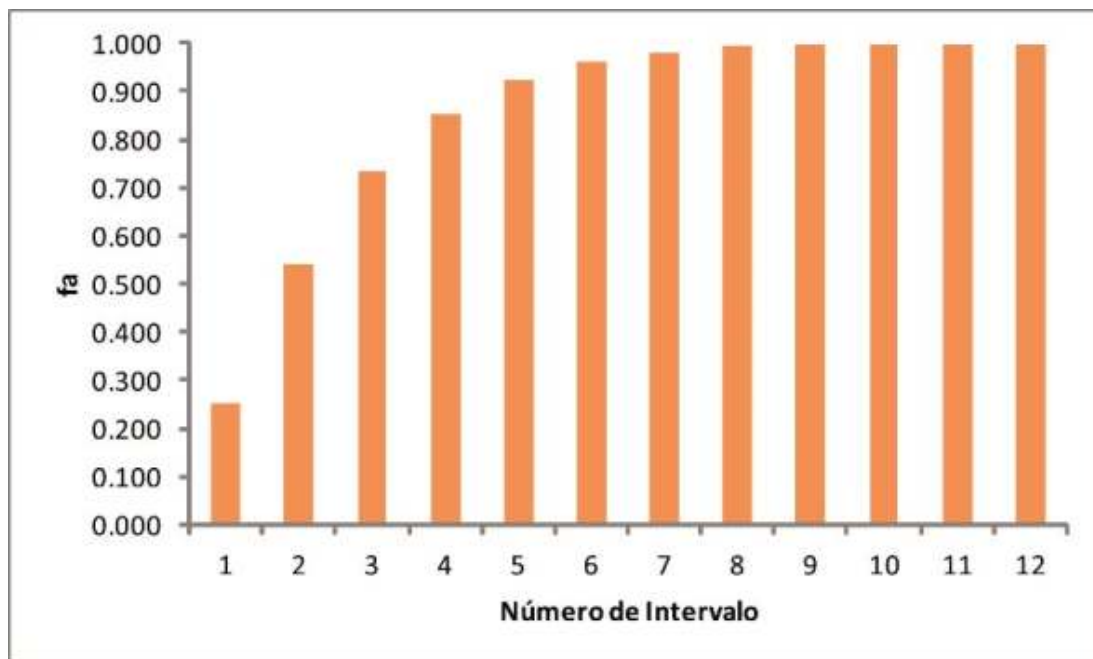
El histograma toma, para ésta edición, la forma representada en las figuras 4.15 y 4.16

Figura 4.15: Histograma de Velocidades



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

Figura 4.16: Histograma de frecuencias acumuladas

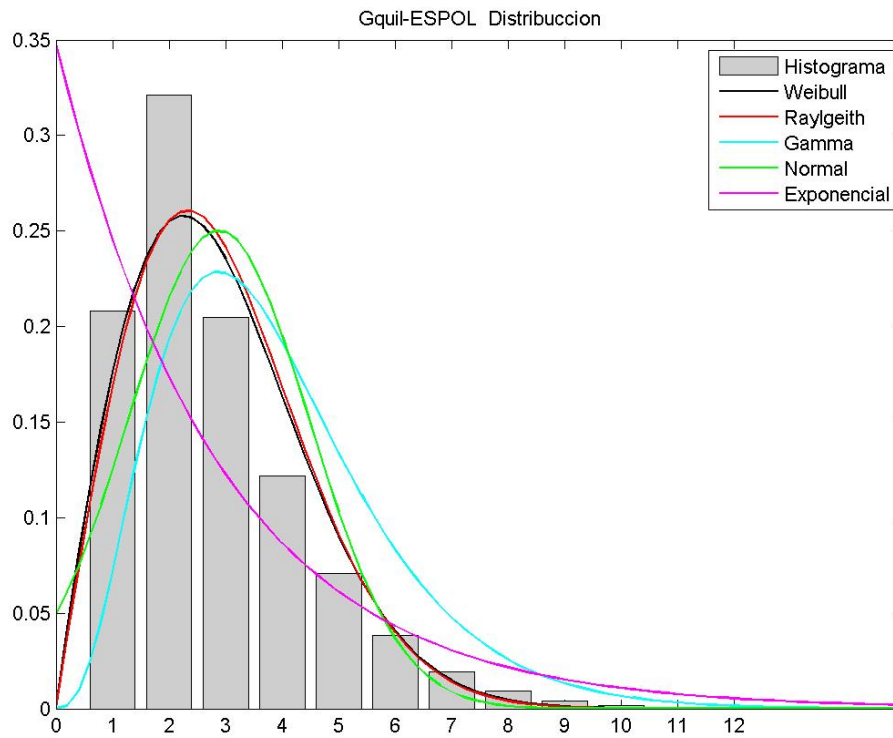


Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

Descripción de la Variación del Viento: Distribuciones de Probabilidad

El conocimiento de la distribución de probabilidades de velocidades de viento $P(V)$, es muy importante a la hora de determinar el potencial eólico disponible, además de para otros parámetros energéticos de interés. Los datos de la velocidad de viento se comportan como una variable aleatoria que se puede describir por medio de una distribución de probabilidades (Weibull, Rayleigh, Normal, entre otras) para su mejor análisis e interpretación.

Figura 4.17: Histograma Normalizado de Velocidad y distribuciones representativas



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

La expresión analítica más usada dentro de los estudios de energía eólica para representar la probabilidad de distribuciones de viento, $P(V)$, es la distribución de Weibull, se trata de una distribución de dos parámetros, cuya expresión es:

$$P(V) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{V}{c}\right)^{(k-1)} \exp\left(-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right)$$

$P(V)$: representa la probabilidad estadística de que ocurra una determinada velocidad de viento
 c : es el denominado factor de escala, cuyo valor es cercano a la velocidad media en el emplazamiento

k : es el denominado factor de forma.

Para obtener los coeficientes de la distribución de Weibull que ajusta al histograma de los registros de viento, puede recurrirse al método de los mínimos cuadrados permite calcular los parámetros de forma y escala, mediante la transformación doble logarítmica de la función de distribución acumulativa, que requieren el ajuste de una recta ($y=ax + b$):

$$y_i = \ln(-\ln(1 - fa_i))$$

$$x_i = \ln(v_i)$$

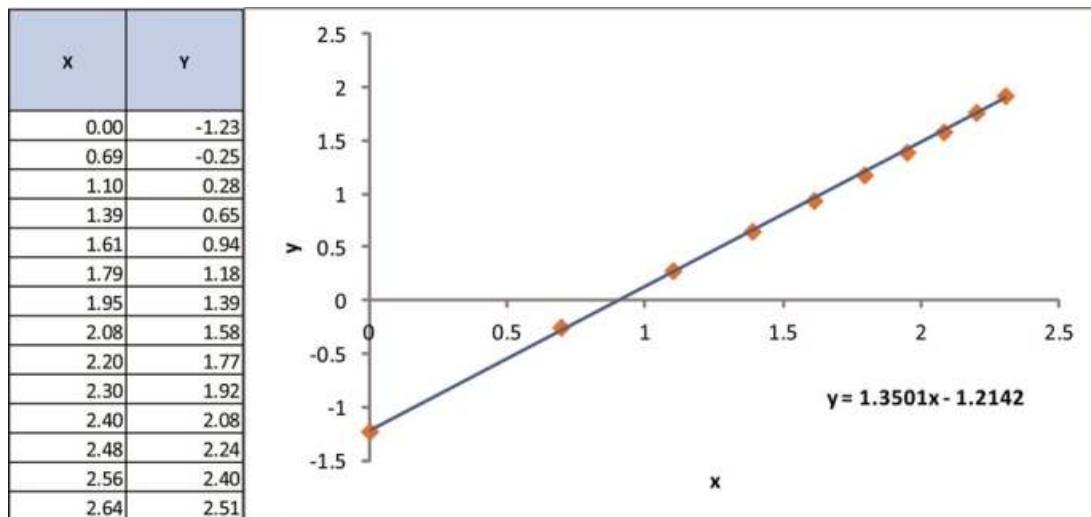
A partir de las constantes calculadas, pueden obtenerse los coeficientes de Weibull según:

$$k = a$$

$$c = e^{\left(\frac{b}{a}\right)} \left[\frac{m}{s} \right]$$

En el cuadro 4.7 puede observar los valores obtenidos y_i y x_i , a partir de los datos de la tabla de frecuencia de velocidad y el ajuste realizado a la ecuación de la recta.

Cuadro 4.7: Ajuste de Coeficientes de Weibull



También variable de interés estadístico y de descripción preliminar del recurso es la velocidad media y desviación típica estimada para un punto a partir de la distribución de Weibull construida, este valor se lo puede obtener a partir de las siguientes ecuaciones:

$$V_m = c \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)$$

$$\sigma = \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

La función gamma () en Excel, es GAMMA.LN y devuelve el logaritmo natural de la función gamma.

4.4 Principios de conversión de la energía eólica

4.4.1 Potencia eólica Disponible

La cantidad de energía que contiene el viento antes de pasar por un rotor en movimiento depende de tres parámetros: la velocidad del viento incidente, la densidad del aire y el área barrida por el rotor

La expresión de la energía cinética de una masa en movimiento es:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

Consideremos una masa de aire (m) con velocidad (v) atraviesa una superficie de sección A perpendicular al flujo de viento, donde el caudal másico del aire se define como:

$$m = \rho Av$$

Reemplazando en la ecuación de la energía cinética se obtiene la energía por unidad de tiempo, es decir la potencia contenida en la masa de aire (W), siendo su ecuación:

$$P = \frac{1}{2}\rho Av^3$$

Al analizar la ecuación anterior, de la potencia posible aprovechable del viento, se aprecia que viene definida de manera proporcional para la densidad y el cubo de la velocidad. Un valor muy útil es la **densidad de potencia media (W/m^2)**, es decir, la potencia eólica media disponible por unidad de superficie **perpendicular al flujo de viento**.

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2}\rho \bar{v}^3 \quad \bar{v}^3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} v_i^3$$

Es importante recordar que la densidad del aire debe ser calculada a la altura del buje y con las condiciones atmosféricas del emplazamiento, El área es igual D^2 , donde D es el diámetro del rotor.

4.4.2 Potencia eólica aprovechable

Cuando el viento pasa a través del rotor de un aerogenerador sufre una disminución de su velocidad, en el cumplimiento de la ecuación de conservación de la masa hace que no toda esa potencia disponible en el aire pueda aprovecharse.

Se define como el coeficiente de potencia de un aerogenerador (C_p) a la fracción de potencia contenida en el viento incidente que es realmente capturada por el aerogenerador (potencia realmente aprovechable)

$$P = \frac{1}{2}C_p \rho Av^3$$

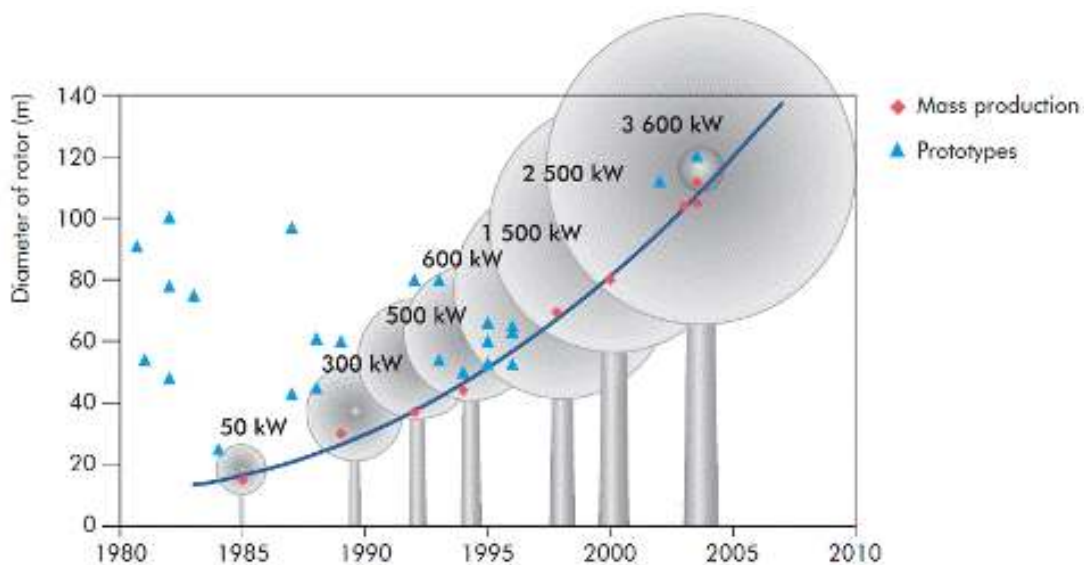
En 1919 el físico Alemán Albert Betz formula por primera una ley respecto a la energía aprovechable del viento, mediante la aplicación de la teoría de la cantidad de movimiento en el rotor de un aerogenerador inmerso en una corriente uniforme de aire. Demostró la existencia de un límite para convertir la energía cinética del viento en energía mecánica usando un aerogenerador.

Betz determino que el valor máximo de la potencia aprovechable del viento es del 59% de la potencia disponible del viento.

$$P_d = \frac{16}{27} \rho A v^3$$

La potencia mecánica que una turbina eólica es capaz de extraer de la energía cinética del viento depende, básicamente, del cubo de la velocidad del viento, del diámetro del círculo barrido por las palas (D) el coeficiente de potencia de un aerogenerador (C_p). Este análisis no considera factores como: la resistencia aerodinámica de las palas, la pérdida de energía por la estela generada en la rotación, la compresibilidad del fluido y la interferencia de las pala.

Figura 4.18: Potencia Mecánica del Aerogenerador vs Diámetro del Rotor



Source: German Wind Energy Institute (DEWI), 2006.

4.4.3 Perfiles aerodinámicos: Teoría del ala

La fuerza sobre la pala de un generador es el resultado de la acción de la velocidad relativa del viento y de la velocidad de giro de la propia pala. Las fuerzas que se generan son de dos tipos: fuerzas de sustentación (F_s), normales a la velocidad relativa y fuerzas de arrastre (F_a), o resistencia aerodinámica paralelas a dicha velocidad relativa.

$$F_s = \frac{1}{2} C_s A v^2 \quad F_a = \frac{1}{2} C_a A v^2$$

Los coeficientes C_s y C_a se denominan coeficiente de sustentación y coeficiente de arrastre, respectivamente. Estos coeficientes dependen de la forma del perfil aerodinámico y del ángulo de ataque, y se determinan en túneles de viento.

Se define la esbeltez de un perfil, para un valor dado de ángulo de ataque, como la relación entre los coeficientes C_s y C_a

El empleo de secciones de las palas con forma de perfil de ala permiten obtener:

- Mayor potencia y mejorar el rendimiento
- Mayores velocidades de giro

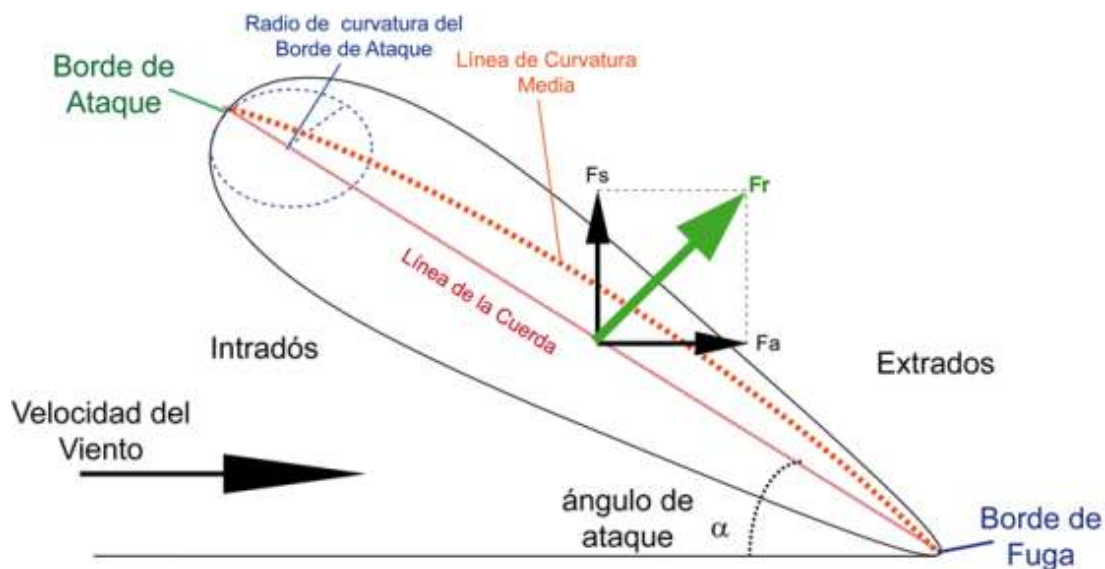
- Menor empuje sobre la máquina, con lo que las cargas y los efectos de estela se reducen.

PALAS PERFILADAS: El elemento básico de una aerogenerador es el rotor, que está formado por una o varias hélices o palas según los casos; cada pala tiene un perfil que tiene una forma aerodinámica; éstos perfiles tienen un extremo redondeado de forma lisa y suave, que es el borde de ataque mientras que el otro extremo, de forma afilada, es el borde de salida.

Para un perfil diseñado en forma aerodinámica se definen dos zonas que son:

- Extradós: Parte del perfil en donde los filetes de aire están en depresión
- Intradós: Parte del perfil en donde los filetes de aire están en sobrepresión

Figura 4.19: Perfil Aerodinámico



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

LÍNEA DE LA CUERDA: Es la línea recta que pasa por el borde de ataque y por el borde de fuga.

CUERDA: Es la línea recta que une el borde de ataque con el borde de fuga. Es una dimensión característica del perfil.

LÍNEA DE CURVATURA MEDIA: Línea equidistante entre el extradós y el intradós. Esta línea "fija" la curvatura del perfil.

CURVATURA MÁXIMA: Es la máxima distancia entre la línea de curvatura media y la cuerda del perfil.

RADIO DE CURVATURA DEL BORDE DE ATAQUE: Define la forma del borde de ataque y es el radio de un círculo tangente al extradós e intradós, y con su centro situado en la línea tangente en el origen de la línea de curvatura media.

Finalmente los perfiles tienen distintos nombres según su geometría. Se denominan biconvexos si el intradós y el extradós son convexos y plano-convexos si tienen el extradós convexo y el intradós plano y de doble curvatura si el intradós y el extradós son cóncavos.

4.4.4 Eficiencia o Rendimiento de un Aerogenerador

El rendimiento real del sistema de generación eólico no solo depende de la potencia aprovechable determinada por la ley de v^3 ; sino también las características de funcionamiento de la máquina. Habrá que considerar, además, las pérdidas mecánicas en la transmisión y la eficiencia eléctrica del generador.

Rendimiento de Betz	59 %
Rendimiento de la hélice.....	85 %
Rendimiento del multiplicador.....	98 %
Rendimiento del alternador.....	95 %
Rendimiento del transformador.....	98 %

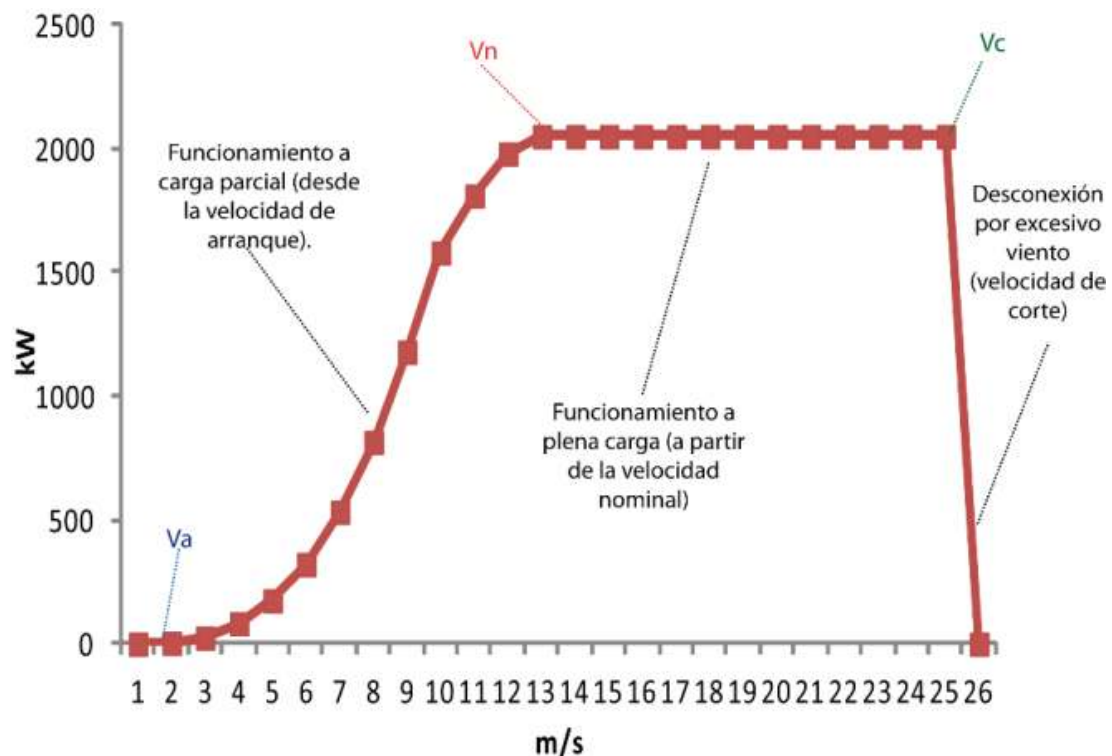
En la práctica se obtiene global un rendimiento global entre un 40 % - 50%.

4.4.5 Curva de potencia del aerogenerador

Se define como la relación entre de la potencia eléctrica suministrada en función de la velocidad de viento incidente (condiciones atmosféricas estándar). Permite estimar y energía que puede suministrar un aerogenerador en un donde se posea registros de la velocidad de viento.

Dicha curva es una de las características más significativas de los aerogeneradores, ya que cada tipo de aerogenerador tiene su propia curva de potencia. En la Figura 4.20 se muestra una curva típica de un aerogenerador 2000 KW, y como se puede observar el aerogenerador está caracterizado por tres velocidades diferentes.

Figura 4.20: Curva de Potencia típica de una aerogenerador de 2000 KW



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

Velocidad de arranque (V_a): Valor predeterminado de la velocidad del viento para la que el aerogenerador comienza a generar energía eléctrica.

Velocidad nominal (V_n): Velocidad del viento a la que una turbina eólica rinde su potencia nominal.

Velocidad de corte (V_c): Valor predeterminado de la velocidad del viento para el que el sistema de control de una turbina eólica realiza su desconexión de la carga.

4.5 Tipos de aerogeneradores

4.5.1 Utilización

- Aerogeneradores: Empleados para la generación de electricidad se los puede clasificar según la potencia de generación.
- Autobombas: Es común encontrarlas en zonas rurales: el agua elevada se suele utilizar para regadío, para consumo humano o para el ganado, operan a bajas revoluciones pero con alto torque, no son muy eficientes a altas velocidades (la gran cantidad de palas generan demasiado arrastre), pero, al mismo tiempo, tener tantas palas le permiten tener un alto torque en comparación a otros molinos

Figura 4.21: Autobomba



4.5.2 Tecnología

Por su tecnología los aerogeneradores pueden dividirse en dos grupos

1. De eje horizontal HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine)

Funcionan por sustentación con una mayor eficiencia y pueden ser instalados a gran altura. Se subdividen en:

- Máquinas que generan un movimiento alternativo, que se utilizan para el bombeo de agua
- Máquinas multipalas
- Hélices con palas pivotantes (ángulo de ataque variable)
- Hélices con palas alabeadas

Los aerogeneradores de eje horizontal se clasifican según su velocidad de giro o según el número de palas que lleva el rotor, aspectos que están íntimamente relacionados, en rápidos y lentos.

En los aerogeneradores de eje horizontal rápidos, el rotor está constituido por una hélice de 2 o más palas, los perfiles utilizados normalmente en las mismas son muy parecidos al perfil de ala.

Son los mejores caracterizados a nivel tecnológico la deficiencia del perfil se basa:

- La forma de la estructura del mismo respecto a sus líneas medianas o cuerdas a distintas distancias del eje de giro
- De su espesor con relación a la longitud característica de la cuerda
- De la simetría o no de las palas, etc.

La hélice puede presentar dos tipos de posiciones frente al viento, como son:

- Aerogeneradores de eje horizontal a barlovento: El viento encuentra antes el rotor que la torre, tienen una mayor eficiencia que los aerogeneradores a sotavento, ya que no presentan interferencias aerodinámicas con la torre, pero necesitan una aleta direccional o un sistema de Orientación con el viento
- Los aerogeneradores de eje horizontal a sotavento: Se alinean autónomamente y pueden utilizar un rotor flexible para resistir los vientos fuertes

Figura 4.22: Aerogenerador de eje horizontal



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

De eje vertical VAWT (Vertical Axis Wind Turbine)

Se puede colocar el generador eléctrico y sistemas mecánicos cerca del suelo, presentando facilidad de mantenimiento; adicionalmente no necesitan de un sistema de orientación al viento. Se subdividen en:

- Del tipo Savonius
- Del tipo Darrius

Figura 4.23: Aerogenerador Savonius y Darrius



Savonius

Es el modelo más simple de aerogenerador y consta de dos (o cuatro) chapas verticales, sin perfil de ala y curvadas en forma de semicilindro.

Sus principales características son:

1. Baja potencia y eficiencia;
2. Operan con vientos de poca intensidad y en un rango limitado
3. Área de exposición al viento del ala fija
4. Control de Velocidad
5. Presencia de un dispositivo mecánico para el paro del aerogenerador
6. Robustez estructural para vientos fuertes o ráfagas
7. Nivel de ruido de operación bajo

Darrieus

Es de eje vertical y de "sustentación", las superficies expuestas al viento presentan un perfil de ala capaz de generar una distribución de la presión a lo largo de la pala y, por tanto, un par en el eje de rotación.

1. Eficiencia menor que los aerogeneradores de eje horizontal,
2. Eficiente para vientos con una notable componente vertical de la velocidad
3. Operan con vientos de poca intensidad y en un rango limitado
4. Control de Velocidad
5. Área de exposición al viento del ala fija
6. Presencia de un dispositivo mecánico para el paro del aerogenerador
7. Robustez estructural relativamente baja para vientos fuertes o ráfagas
8. Aplicaciones de gran potencia
9. Capaz de funcionar incluso con vientos turbulentos

Las ventajas de los aerogeneradores de eje vertical frente a los de eje horizontal son:

- a) No necesitan sistemas de orientación
- b) Los elementos que requieren un cierto mantenimiento pueden ir situados a nivel del suelo
- c) No requieren mecanismos de cambio de revoluciones.

Las ventajas de los aerogeneradores de eje horizontal respecto de los de eje vertical son:

- a) Mayor rendimiento
- b) Mayor velocidad de giro (multiplicadores más sencillos)
- c) Menor superficie de pala
- d) Se pueden instalar a mayor altura, donde la velocidad del viento es más intensa

Cuadro 4.8: Clasificación de aerogeneradores de eje horizontal para producción eléctrica en función de su potencia

Denominación	Potencia Nominal (kW)	Radio Rotor (m)	Aplicaciones
Muy baja ⁵			Embarcaciones, sistemas de comunicación, refugios de montaña, iluminación...
1-10	1-3	Granjas, viviendas aisladas	
Baja	10-100	3-9	Comunidades de vecinos, PYME's (sistemas mixtos EO-diésel), drenaje, tratamiento de aguas...
Media	100-1.000	9-27	Parques Eólicos (terreno complejo).
Alta	1.000-10.000	27-81	Parques Eólicos (terreno llano, mar adentro).
Muy alta	>10.000	>81	Prototipos

4.6 Elementos de un aerogenerador

Los subsistemas principales de la modernas aerogeneradores para producción de energía eléctrica son:

- Sistema de captación
- Sistemas de transmisión mecánica
- Sistema eléctrico
- Sistema de regulación y control
- Góndola
- Sistema de Orientación
- Torre Soporte
- Sistemas Auxiliares

El sistema de captación se encarga de captar la energía cinética del viento y transformarla en energía mecánica en un eje rotatorio

El sistema de transmisión mecánico transforma la potencia mecánica rotatoria del buje, potencia de alto par mecánico a bajas vueltas, en potencia mecánica rotatoria de bajo par mecánico y altas vueltas, adecuada para el arrastre de los generadores eléctricos convencionales

El sistema de orientación se encarga en las aerogenerador de eje horizontal, de situar el rotor del sistema de captación en posición perpendicular a la dirección del viento incidente.

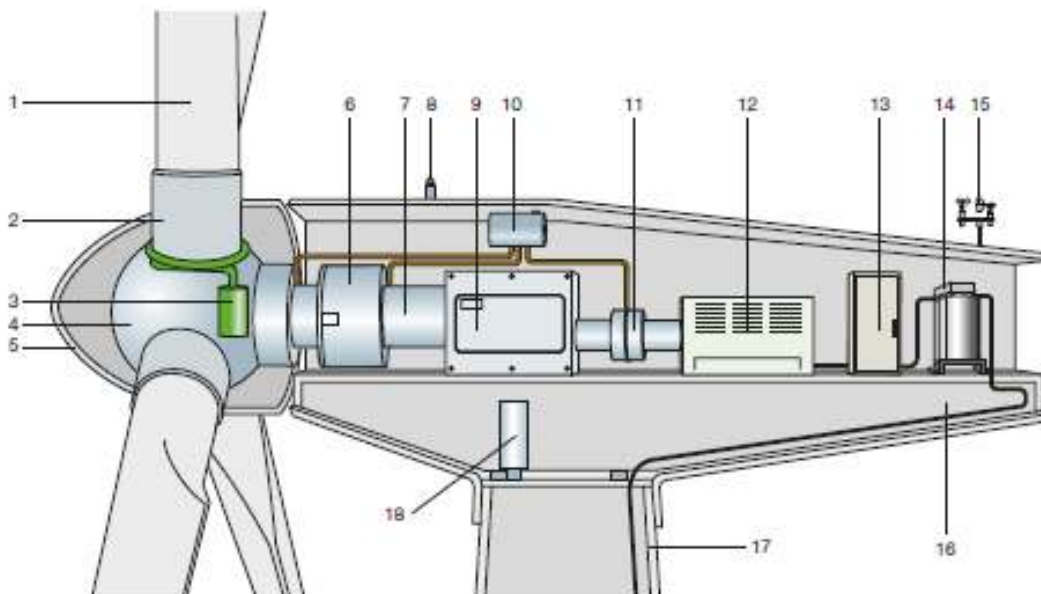
El sistema de regulación de potencia limita la potencia captada para vientos superiores al viento nominal del aerogenerador.

El sistema eléctrico transforma la potencia mecánica producida por la aerogenerador en energía eléctrica adecuada para el autoconsumo o para verter a la red eléctrica.

Los principales elementos de un aerogenerador son:

1. palas del rotor;
2. soporte de la pala;
3. actuador del ángulo de paso;
4. buje del rotor;
5. cubierta;
6. soporte principal;
7. ejes de velocidad;
8. luces de señalización aérea;
9. multiplicador;
10. dispositivos hidráulicos de refrigeración;
11. frenos mecánicos;
12. generador;
13. convertidor de potencia y dispositivos eléctricos de control, protección y seccionamiento;
14. transformador;
15. anemómetros;
16. estructura de la góndola;
17. torre de soporte;
18. mecanismo actuador de la orientación.

Figura 4.24: Elementos de un aerogenerador



A continuación se hace una breve reseña de los elementos principales:

La **góndola** contiene los componentes principales del aerogenerador como el multiplicador y el generador eléctrico. El ingreso se realiza desde la torre de la turbina. En un extremo de la góndola tenemos el rotor del aerogenerador, es decir, las palas y el buje.

El **buje del rotor** está acoplado al eje de baja velocidad del aerogenerador.

Las **palas del rotor** capturan el viento y transmiten su potencia hacia el buje.

El **eje de baja velocidad** del aerogenerador conecta el buje del rotor al multiplicador. Opera entre 20 a 30 revoluciones por minuto (r.p.m.). Presenta un sistema hidráulico para el funcionamiento de los frenos aerodinámicos.

El **eje de alta velocidad** gira aproximadamente a 1.500 revoluciones por minuto (r.p.m.), lo que permite el funcionamiento del generador eléctrico. Presenta un freno de disco mecánico de emergencia, fallo del freno aerodinámico, o mantenimiento del equipo.

El **multiplicador** permite que el eje de alta velocidad gire veces más rápidamente que el eje de baja velocidad. En el eje de transmisión se coloca a menudo un multiplicador de una o varias etapas entre el rotor que extrae la energía cinética del viento y la convierte en energía mecánica de rotación.

El **generador eléctrico** suele llamarse generador asíncrono o de inducción, logrando energía mecánica de rotación se transfiere directamente a través del eje al generador, de esta forma se induce una corriente eléctrica.

El **mecanismo de orientación** se activa por medio de un controlador electrónico, guía por la dirección del viento registrada por la veleta.

El **anemómetro y la veleta** se utilizan para medir la velocidad y la dirección del viento. Los datos registrados permiten controlar la operación del aerogenerador.

La **torre del aerogenerador** tiene la función estructural de soportar la góndola y el rotor.

4.7 Instalaciones

Las instalaciones eólicas se pueden clasificar en autónomas de la red eléctrica o conectada a ella. Entre ellas existen instalaciones mixtas eólica-fotovoltaica.

4.7.1 Sistemas Autónomos

Normalmente este sistema eólico se emplea para suministro eléctrico de viviendas aisladas, embarcaciones, etc. y suele precisar velocidades muy bajas de viento. Su potencia de trabajo oscila entre 0,3 a 100 kW,

Una instalación eólica de este tipo consta de uno o varios aerogeneradores que alimentan un cuadro de carga y de un conjunto de baterías dimensionadas según la temporización de la demanda. Estos sistemas pueden ser atendidos directamente por sus usuarios ya que precisan muy poco mantenimiento.

Sistemas individuales: Generalmente, cuentan con un pequeño aerogenerador, una o más baterías para almacenar la energía generada y un regulador que controla la carga y descarga de las baterías. En algunos casos incluir un inversor para transformar la electricidad de corriente continua en alterna.

Figura 4.25: Sistema Aislado Ecuador



4.7.2 Sistemas Conectados a Red

En este caso se puede decir que existen dos grupos aquellos aerogeneradores que inyectan toda la energía generada en la red y aerogeneradores que utilizan la energía para consumos particulares y que utilizan la red para inyectar el exceso de producción y para tomar energía en los períodos de bajo viento.

Un parque eólico usa la misma tecnología básica que un pequeño sistema, aunque a una escala mayor. Generalmente, se coloca una serie de aerogeneradores con potencia superiores 100 KW en un sitio con condiciones de viento muy favorable. Aparte de la escala, la otra gran diferencia con sistemas pequeños es la ausencia de baterías, y que se conectan directamente a la red eléctrica existente.

Figura 4.26: Parque Eólico Villanaco-Ecuador



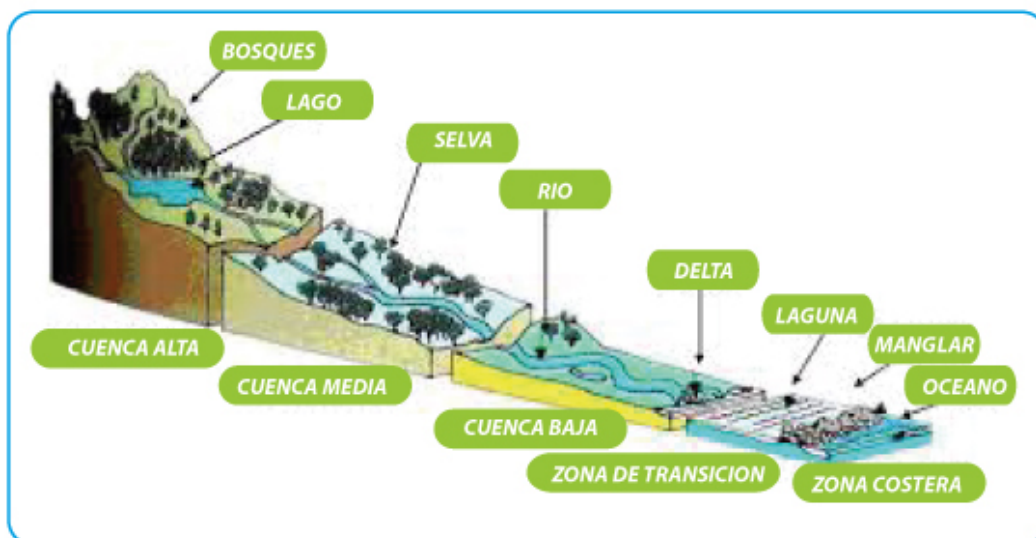
5 — ENERGÍA HÍDRICA

Objetivo del Capítulo V

- Conocer el desarrollo de la energía hidráulica como parte del panorama energético actual, sus principales características y las posibilidades de gestión en nuestro entorno .
- Definir, describir y analizar los aspectos más importantes que caracterizan la energía hidráulica.
- Conocer las variables principales que engloban la práctica proyectos de desarrollo en el área de la energía hidráulica, y diferenciar los aspectos más importantes relacionados con los proyectos hidráulicos

5.1 CUENCAS HÍDRICAS APROVECHABLES y ECOLÓGICAMENTE VIABLES

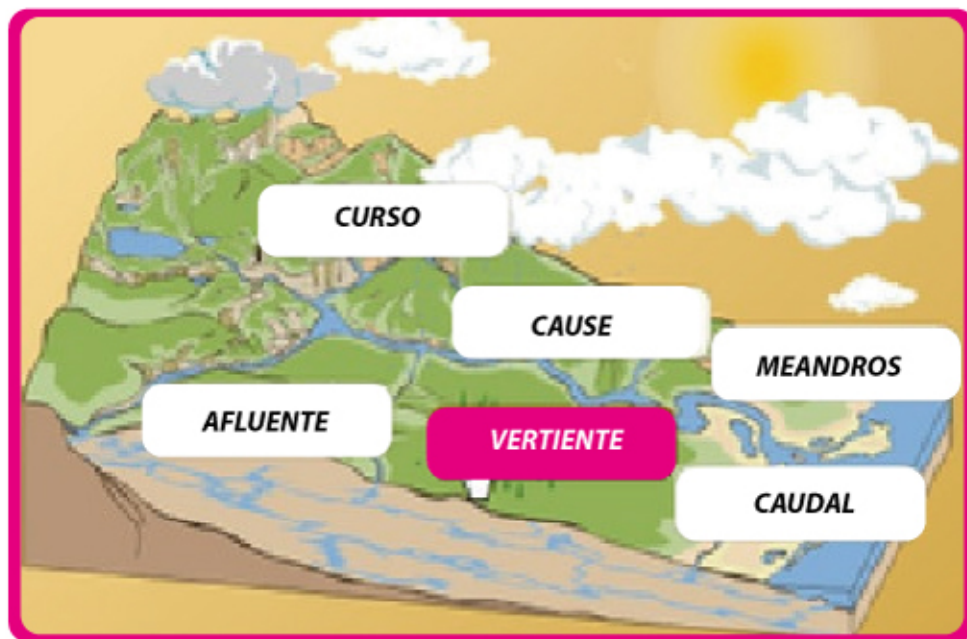
La cuenca hidrográfica se define como una unidad territorial en la cual el agua que cae por precipitación se reúne y escurre a un punto común o que fluye toda al mismo río, lago, o mar. También se define como una unidad fisiográfica conformada por la reunión de un sistema de cursos de ríos de agua limitados por el relieve que cobija a la flora y fauna del sector. Al proteger el estado de nuestras cuencas hidrográficas, podemos preservar y mejorar la calidad de vida de nuestros ecosistemas.



Por otro lado, defínase al río (recurso hídrico) como corriente continua de agua que desembocan en el mar, en otro río o en un lago. Los ríos tienen las siguientes características:

- **CURSO.** Es lo que se conoce como recorrido del río. El recorrido de un río se divide en: curso alto, curso medio y curso bajo.
- **CAUCE.** Zona de terreno por la que discurre un río.
- **CAUDAL.** Cantidad de agua que transporta un río.
- **RÉGIMEN.** Variación del caudal de un río a lo largo del año.

Figura 5.1: Características de un río



Durante el recorrido del río en el curso convierte la energía potencial del agua a cierta altura en energía cinética. El fluido desciende de nivel y la energía potencial se convierte en cinética alcanzando mayor velocidad en el punto más bajo; en este punto se le hace fluir por una turbina, lo que causa un movimiento rotatorio en un generador y este a su vez se convierte en energía eléctrica (recurso hidroeléctrico).

Una vez extraída la energía eléctrica el agua se devuelve al río para su curso normal, pudiéndose aprovechar de nuevo para obtener energía eléctrica aguas abajo o para el consumo humano.

Tenga en cuenta que se menciona solamente la descarga media. La descarga (flujo) varía continuamente de acuerdo a estaciones climáticas del año, así como a condiciones climatológicas del momento, pluviosidad, escorrentía superficial, velocidad de saturación del suelo, dispersión a corriente sub-superficial, etc.

Para evaluar el recurso hídrico requiere saber de varias variables tales como:

- la descarga de agua;
- diferencia de altura;
- las variaciones estacionales,
- los efectos de la topografía, etc.

No se puede permitir tomar más de una fracción de la descarga total de agua. La evaluación del recurso impone que se haga un análisis detallado del flujo del caudal que fluye a lo largo del año y sus fluctuaciones. Así mismo debe establecerse la correlación entre estos caudales y las variables climatológicas, topografía del terreno, capacidad de absorción del agua en el suelo, existencia de derivaciones que toman agua corriente arriba para uso agrícola, etc.

Todo esto influye en el caudal; con estos valores se obtienen las primeras aproximaciones a Energía extraíble. La potencia hídrica es función del caudal, de la densidad, de la diferencia de cotas en la caída y actúa como constante de proporcionalidad la gravedad.

$$Potencia = \rho * G * g * \Delta z$$

Donde;

ρ = densidad

G = caudal

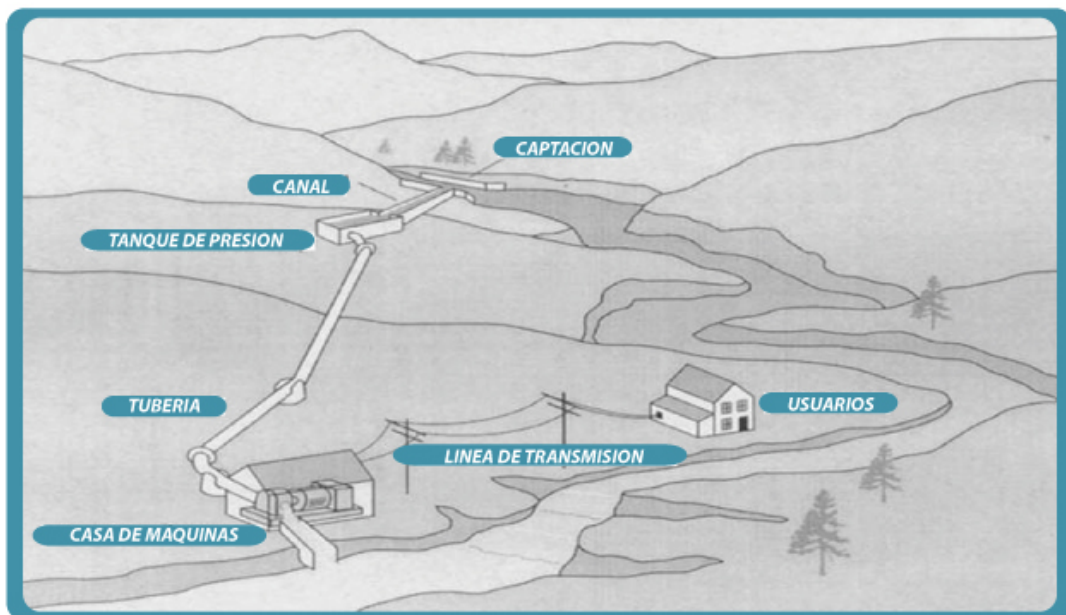
g = gravedad

Δz = diferencia de niveles

Luego hay una evaluación geotécnica en la que debería establecerse donde se va a colocar algún tipo de represamiento o alternatively de un canal o su tanque de asentamiento desde donde fluyen las tuberías de presión que conduzcan el agua hacia las tuberías ubicadas en la parte inferior.

Los casos típicos en zonas de montañas son de pequeñas centrales

Figura 5.2: Pequeña central hídrica con canal de derivación directa



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

Figura 5.3: MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA CON REPRESAMIENTO ANTES DEL CANAL DE DERIVACIÓN



Nótese que el tanque de asentamiento está por debajo de la bocatoma a la derivación (disminuyendo por tanto la altura efectiva) . Por otro lado la turbina estará ubicada por encima del lecho del río, introduciendo una disminución adicional de la Δz (diferencia de nivel).

Finalmente la tubería de presión y sus accesorios introducen pérdidas de cabezal, por tanto la altura efectiva será igual a restar las tres pérdidas aquí indicadas del valor original de la diferencia de cotas, esto será la denominada “altura efectiva” que se refiere a una diferencia de cotas “efectiva”.

Evaluación del recurso.

Método directo.- Se evalúa el caudal del río en base a datos intermediarios en puntos seleccionados de la cuenca.

Método indirecto. – Se usa datos meteorológicos de la región , específicamente de precipitación complementado sobre datos hidrológicos de cuencas y del tipo de suelo

Datos estadísticos de caudal o de precipitación se usan para determinar potencia de aprovechamiento hidráulica. Debe considerarse variación a través de los meses del año. Se usa los histogramas y se determinan el caudal de mayor frecuencia estadística. Del histograma se determina el caudal de diseño (GD) en m^3 / s .

Nota.- Se toma una fracción del caudal total (20% - 40%). Debe tomarse en cuenta el impacto ambiental de derivar caudales mayores.

5.1.1 Flujo Ecológico

Es el flujo mínimo de agua que se requiere para mantener el equilibrio ecológico en las especies de flora y fauna que son características de la zona y otras consideraciones ambientales que se requiere mantener en cierto caudal a lo largo del lecho de río.

Los ríos no son sólo conductos de los cuales se extrae lo que se necesita y se desecha lo que no, sino que además brindan servicios para los ecosistemas asociados.

La escorrentía superficial es el agua que circula sobre la superficie de la cuenca; y es equivalente a la cantidad de precipitación (pluviometría a la que se le ha sustraído el agua perdida y evapotranspiración hacia el entorno, además de la infiltración al suelo)

Al momento de determinar los efectos ecológicos por el uso parcial del caudal, es necesario establecer cual es el caudal apropiado en determinado cuerpo de agua para conservar las actividades en los ecosistemas al que pertenecen; en particular su flora y fauna y; a su vez permita beneficiar a las comunidades humanas, sin afectar dichos ecosistemas acuáticos.

En la actualidad existen cuatro enfoques metodológicos que son: hidrológico, hidráulico, hidrobiológico y holístico

5.1.2 MÉTODO HIDROLÓGICO

Está basado en registros históricos de caudal (mensuales o diarios) a partir de los cuales se obtiene un caudal mínimo. Esta metodología se fundamenta en la relación estricta que existe entre el régimen hidrológico y el ecosistema existente, debido a que las especies dentro del río se han adaptado y acostumbrado a las variaciones de caudal.

Las ventajas de esta metodología es su fácil aplicación y poca inversión para toma de datos. La desventaja es que no toma en cuenta aspectos biológicos y geomorfológicos del cauce, lo cual no refleja las necesidades reales del ecosistema * Palau y Alcazar, 1996, Davis y Hirji 1999, Bernardo y Alves 2000.

5.1.3 MÉTODO HIDRÁULICO

Este método usa relaciones entre el caudal del río y alguna característica del cauce (velocidad, profundidad, perímetro mojado, múltiples interceptos) involucrando medidas específicas del

cauce afectadas directamente por la variación de caudal y que representan un factor limitante para las especies del ecosistema. Se aplica a las secciones transversales donde el mantenimiento del caudal es crítico o donde el hábitat hidráulico es limitante para la vida acuática.

5.1.4 MÉTODO GEOMORFOLÓGICO

Consiste en comprender la geomorfología existente en el río en conjunto con la modelación del hábitat hidráulico para determinar el caudal ecológico (sector, tramo, sitio, parche)

Este método fue propuesto por Thoms y Sheldom en año 2002 y plantea los siguientes procedimientos:

- Determinación de los hábitats físicos y su relación, mediante sensores, fotos aéreas, datos históricos y estudios de campo.
- Identificación de caudales asociados con los hábitats físicos y sus respectivas funciones; ubicados en las secciones transversales, caudal- hábitat.
- Identificación de la firma hidrográfica y su comportamiento en régimen de caudales a más de 100 años y pulsos de inundación en menos de un año. Lo cual depende de conectividad longitudinal, los intercambios verticales, la conectividad lateral, los caudales de mantenimiento de los canales, los caudales mínimos y los caudales estacionales
- Establecimiento de opciones de manejo del caudal para determinar opciones de extracción, así como el pronóstico de inundación en los niveles de prioridad para conservar el hábitat ecológico y en que zonas sucederán. Los pulsos que superen el nivel de prioridad corresponden al caudal que puede ser utilizado en consumo

5.1.5 MÉTODO HOLÍSTICO

Se basa en el enfoque o aproximación de la construcción del régimen de caudal modificado mediante la adición de componentes de caudal a una línea base de caudal cero, antes que los sistemas acuáticos cambien

A continuación se mencionan algunos de los principales métodos holísticos

- Aproximación Holística (Holistic Approach): (Arthington *et al.* 1992; Davies *et al.* 1996; Arthington 1998; Petit *et al.* 2001).
- Building Block Methodology (BBM): (King y Louw 1998; King *et al.* 2000).
- Evaluación por Grupo de Expertos (Expert Panel Assessment Method-EPAM): (Swales y Harris 1995).
- Evaluación por Equipo Científico (Scientific Panel Assessment Method-SPAM): (Thoms *et al.* 1996; Cottingham *et al.* 2002).
- Análisis del Hábitat (Habitat Analysis Method): (Walter *et al.* 1994; Burgess y Vanderbyl 1996; Arthington 1998).
- Evaluación Comparativa (Benchmarking Methodology): (Brizga *et al.* 2001, 2002), “top-down”.
- Plan de Manejo de Caudal Ambiental (Environmental Flow Management Plan Method-FMP): (Muller 1997; DWAF 1999).
- Método del Río Babingley (River Babingley (Wissey) Method: (Petts *et al.* 1999).
- Respuesta Aguas Abajo a Transformaciones Impuestas al Caudal (Downstream Response to Imposed Flow Transformations-DRIFT): (King *et al.* 2003; Arthington *et al.* 2003a), “top-down”.
- Metodología BBM-DRIFT Adaptada: (Steward *et al.* 2002), “top-down”.
- Método de Restauración del Caudal (Flow Restoration Methodology-FLOWRESM): (Arthington *et al.* 1999; Arthington *et al.* 2000).
- Método de Eventos de Caudal (Flow Events Method-FEM): (Stewardson y Cottingham 2002), “topdown”.

Dentro del contexto ecuatoriano la principal fuente de información relacionada al recurso hídrico corresponde a los datos históricos del INAMHI, de la información relacionada a:

- CAUDALES y NIVELES
- ESTUDIOS HIDROLÓGICOS
- ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS

5.2 FUERZA MOTRIZ POR CAÍDA DE AGUA

La caída de agua genera fuerza motriz a través del sistema de aprovechamiento denominado turbina. Estas unidades generan una fuerza motriz que puede ser aprovechada en un generador eléctrico, que se implementa vía una central hidroeléctrica.

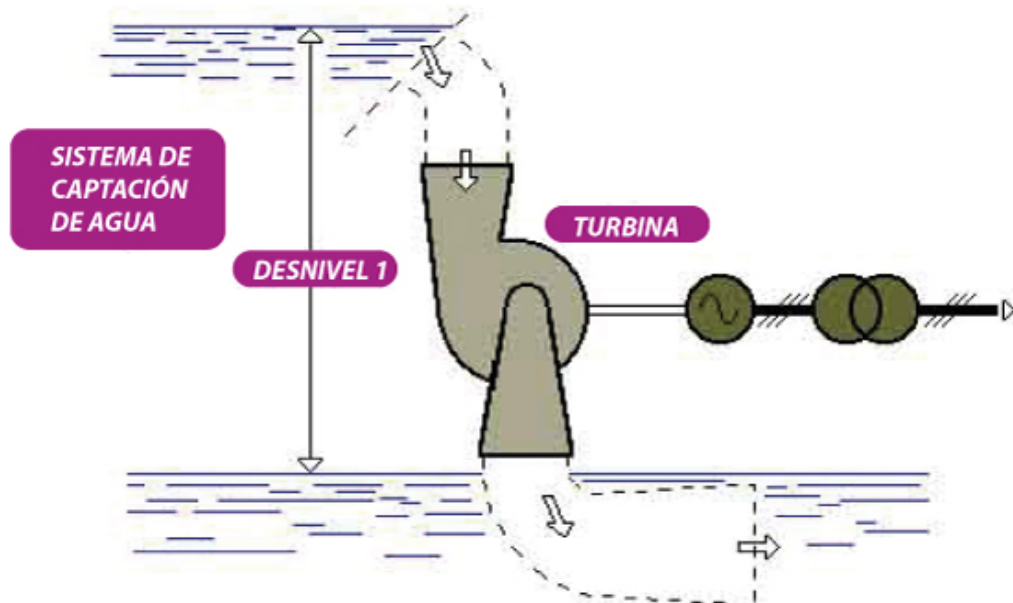
Las centrales hidroeléctricas usan la energía hidráulica para la generación de energía eléctrica y aprovechan la energía potencial que posee la caída del agua que proviene de la corriente que pasa por los desniveles del cauce.

El agua que pasa y cae entre estos dos niveles, pasa por una turbina hidráulica la que transmite energía a un generador para transformarlo en energía eléctrica.

La eléctrica se produce en plantas generadoras conocidas como centrales hidro-eléctricas. La fuerza ejercida por un caudal de agua que cae sobre los álabes de una turbina que hace girar un generador que va acoplado a ellos, produciendo electricidad.

La hidroelectricidad es la electricidad que se genera aprovechando la energía del agua (primero potencial y luego mecánica).

Para la producción de energía eléctrica téngase en cuenta el balance de agua: de los datos de lluvia, la cantidad de agua que habría que esperar a convertirse en escorrentía superficial dentro de la cuenca. Debe tenerse en cuenta que habrá una variación estacional en la descarga de un río en particular, arroyo, etc. Véase esquema a continuación.

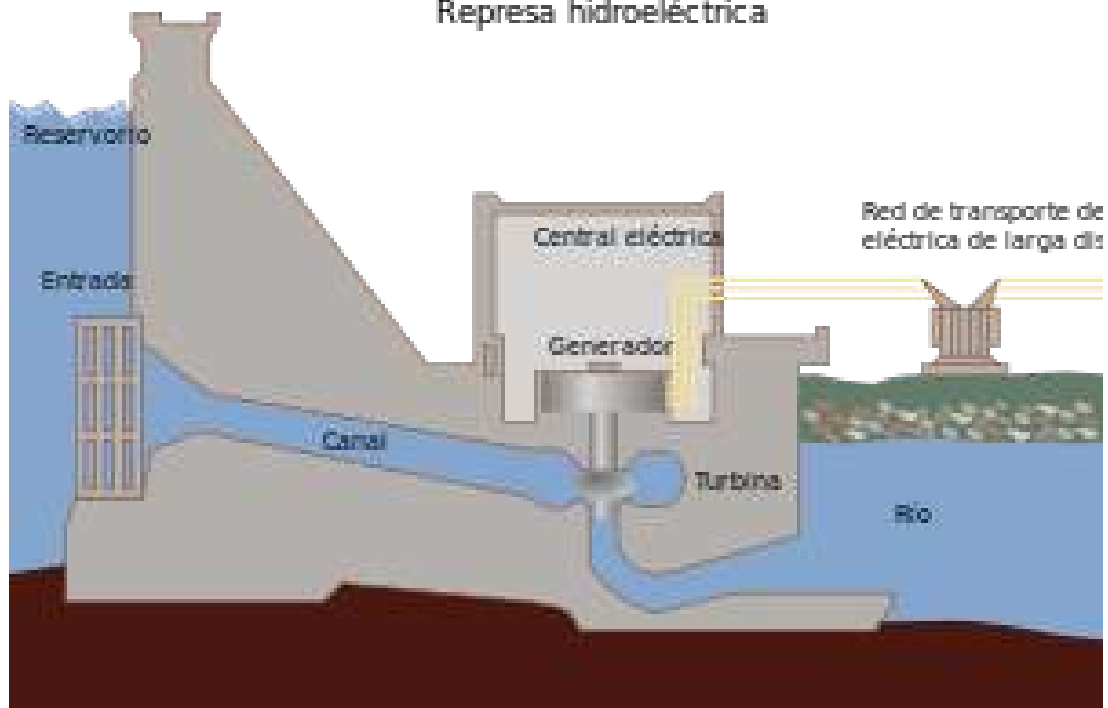


5.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS PLANTAS

La planta hídrica, tal como se describió anteriormente contiene varios componentes en secuencia, que se detalla a continuación.

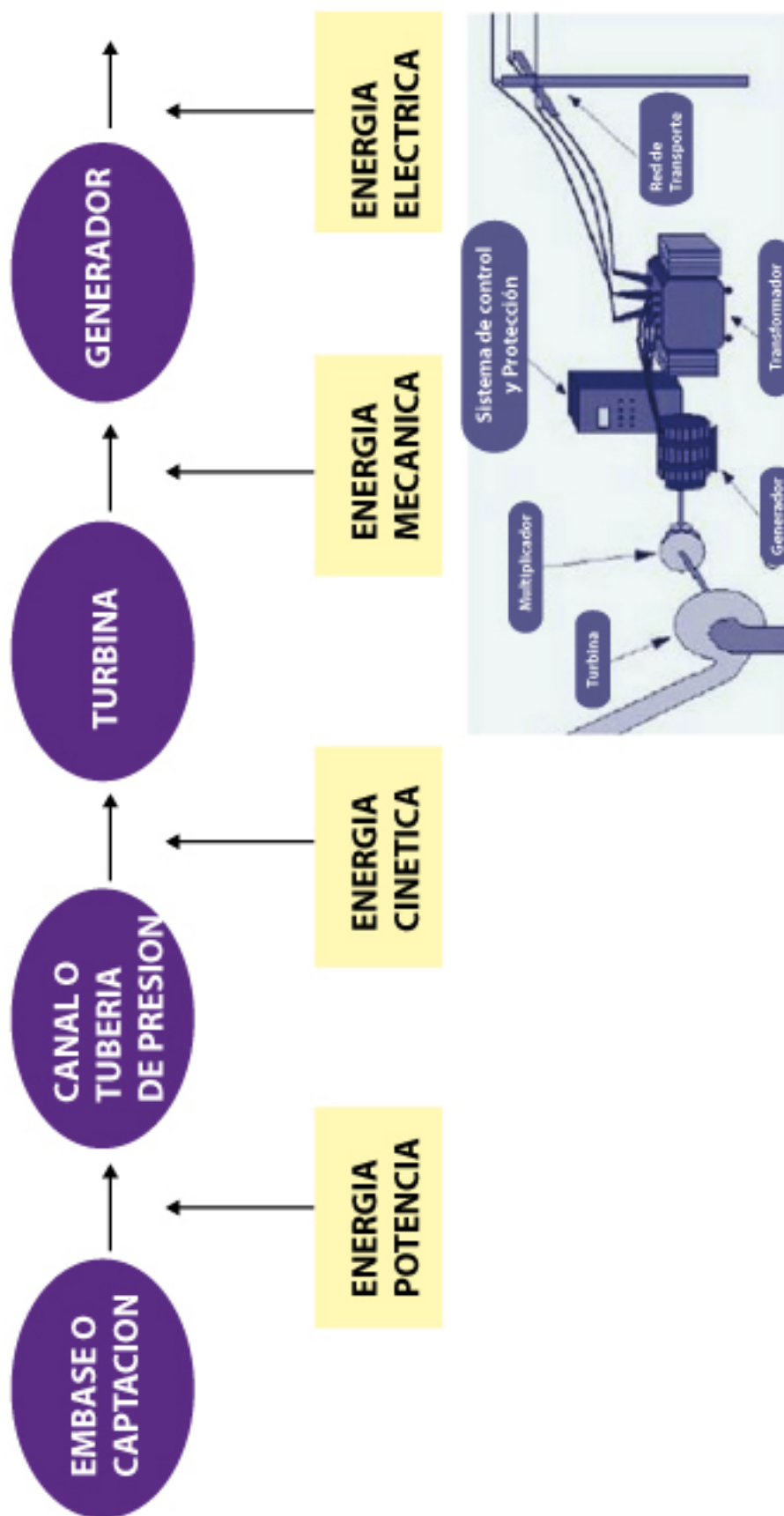
- **Represa.** Es una barrera artificial que se coloca en el cauce de un río con el objeto de generar una acumulación de agua. De esta manera se puede estabilizar mejor el caudal de agua que se derive a la pequeña central, disminuyendo la variación de caudal que se genera por las fluctuaciones del caudal.
- **Canal.** Es el conducto generalmente abierto por el cual se lleva el agua desde la (bocatoma) hasta el tanque de asentamiento del que parte la tubería de presión que lleva agua hacia la turbina.
- **Desarenador.** Es un tanque intermedio que permite eliminar una parte de los materiales sólidos que acarrea el agua de la derivación. El principio de operación es una expansión del área de flujo, lo que permite una disminución de velocidad y un asentamiento consecuente de las partículas que se depositan como lodo de fondo. El lodo se retira sistemáticamente a la entrada del canal mediante el uso de rejilla que tamizan el paso de los sólidos gruesos (ramas, hojas, animales muertos.. etc)
- **Tanque de Presión:** Es el tanque tipo recipiente que mantiene un nivel más o menos fijo del cual se deriva el agua hacia el tanque de presión. La altura de agua es relativamente constante y se regula por vertederos laterales que evitan que suba de nivel. En algunos casos se coloca un solo tanque para que cumpla la función de desarenador y tanque de presión. Al tanque de presión se lo denomina tanque de equilibrio.
- **Tubería de Presión:** Es el conducto por el que el agua desciende entubada desde el tanque de equilibrio hacia la turbina. Generalmente debe de estar bien anclada al suelo.

Figura 5.4:
Represa hidroeléctrica



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Central_hidroelectrica

Figura 5.5: Esquema de Centrales



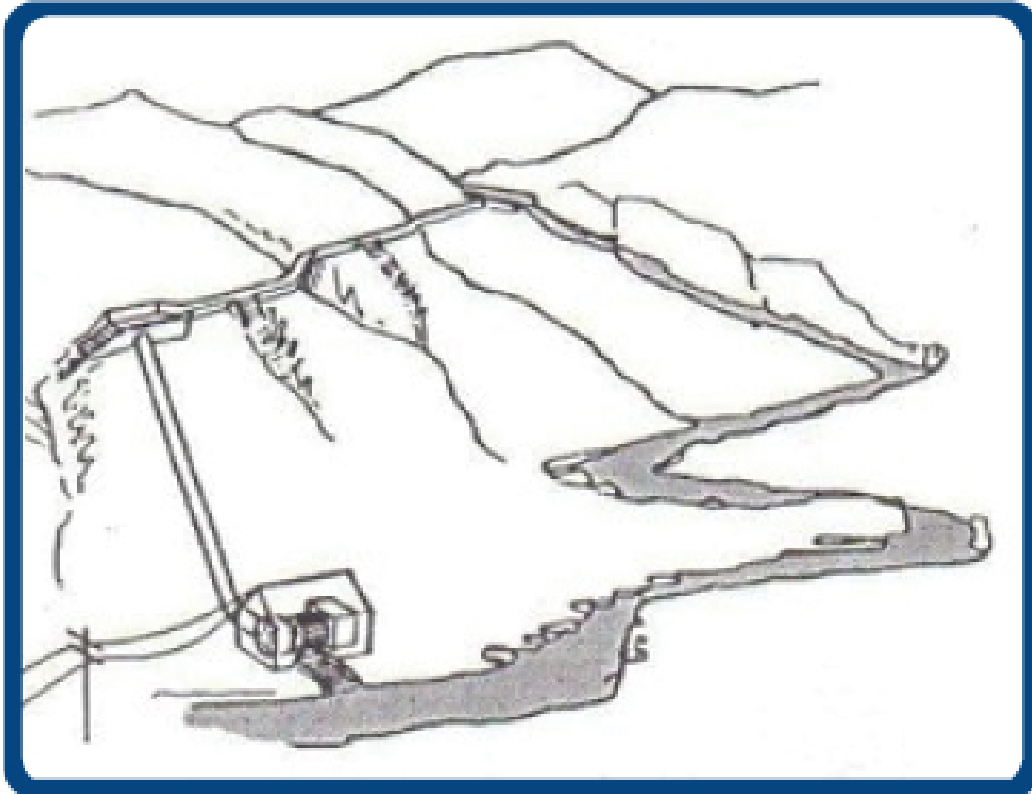
ESQUEMA DE CENTRALES HIDRAÚLICAS

Alturas de caídas 2.5 a 15 metros

Medias caídas 15 a 300 metros

Altas caídas mas de 300 metros

Figura 5.6: Esquema de sistema de aprovechamiento de pequeña caída hídrica



Según la potencia las CENTRALES se CLASIFICAN en

- *Por represamiento*
 - De Embalse
 - De Flujo

- *Por capacidad*
 - Pico hasta 10kW
 - Micro 10 a 100 kW
 - Mini 100 kW a 1 MW
 - Pequeña 1 MW a 10 MW
 - Mediana 10 MW a 100 MW
 - Grande mayor que 100 MW

TIPO DE TURBINAS

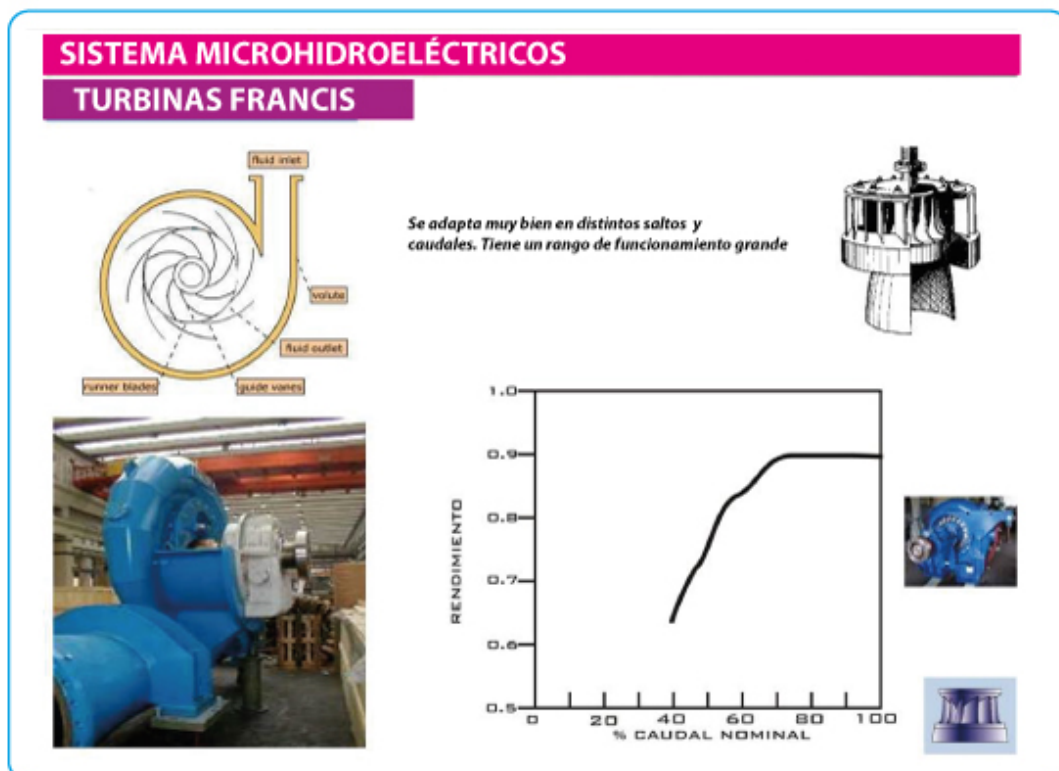
Denominamos turbina a la máquina que se emplea para transformar energía mecánica en energía de eje. Este eje se puede acoplar a una máquina rotatoria, en particular un electrogenerador.

Existen dos tipos de turbinas: de acción (impulso) y de reacción

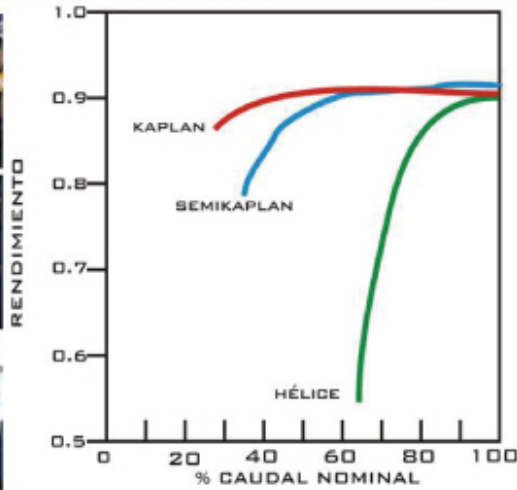
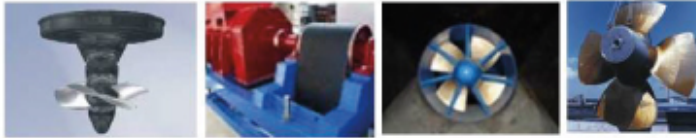
En las de acción la energía potencial se convierte en energía cinética a la salida de un chorro a salida de las paletas(rueda Pelton)

En las de reacción se aprovecha el cambio de dirección del agua a través de pasajes o paletas (Francis y Kaplan)

La turbina Pelton se utiliza en el caso de saltos superiores a 200 metros y pequeños caudales, normalmente para presas situadas en zonas de alta montaña; las segundas son más indicadas en el caso de saltos menores. Hay también turbinas más pequeñas denominadas Michell Banki, es apropiada para micro y mini centrales con cantidades de agua de hasta 200 m y de caudales hasta $5 \text{ m}^3 / \text{s}$.



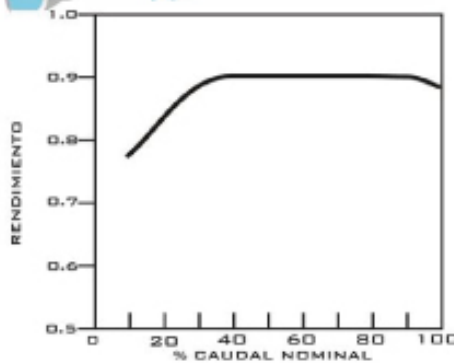
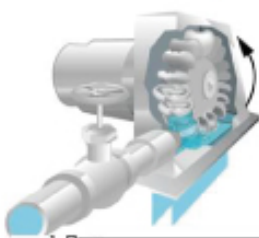
SISTEMA MICROHIDROELÉCTRICOS TURBINAS HÉLICE, SEMIKAPLAN Y KAPLAN



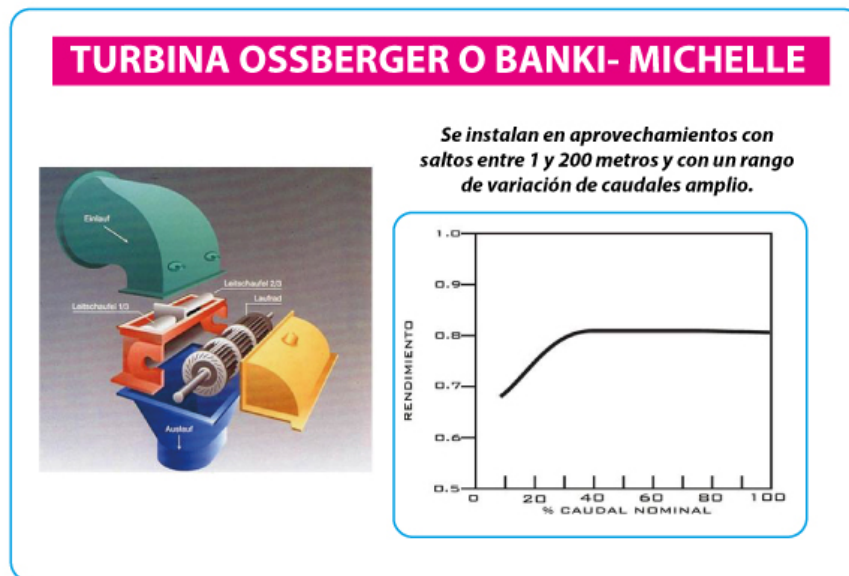
Se utiliza en saltos pequeñas y caudales variables



TURBINA PELTON



Se emplean en aprovechamientos hidroeléctricos de salto elevado y pequeño caudal.



Téngase en cuenta los distintos tipos de turbinas de agua y su rendimiento diferente. Así como la selección de las turbinas que son más apropiados para los cursos bajos y altos. Y para los valores medios.

Hay pérdidas mecánicas en las turbinas de agua, debido a la turbulencia, la interferencia de los álabes, la energía de disipación debido al movimiento del rotor, etc.

Durante el funcionamiento de las turbinas de agua, se deberá tener en cuenta las diversas formas de controles, en particular, el control de flujo y el de carga.

En el control de flujo, la entrada se ajusta a través de un control para asegurar que el flujo de agua coincide continuamente para suministrar los requerimientos de energía.

En el control de carga, el generador eléctrico está configurado para generar en un nivel fijo, mientras que el exceso de energía se descarga a manera de lastre ajustable. Tenga en cuenta que a veces este exceso a una resistencia balastro se puede aplicar en otros fines útiles, tal como el calentamiento de agua.

Dependiendo del tipo de turbina, la energía perdida puede ascender de 10 hasta el 50%. La eficiencia de la turbina se ve disminuida por esta pérdida. Se define la eficiencia como la relación cuociente entre la tasa de energía hídrica y la potencia mecánica en el eje la que varía entre 50% y 90%. Tome el porcentaje del 70% como un valor representativo de los sistemas considerados, en particular de pequeña y mediana escala.

Téngase en cuenta que las pérdidas por fricción aparecen en la tubería de carga, es decir, el tubo de presión que va desde el tanque de sedimentación a la turbina. Además, la eficiencia de conversión del generador de electricidad u otro sistema de conversión de potencia que recibe potencia desde el eje de la turbina debe ser considerada.

La potencia que hipotéticamente podría generarse a partir de una diferencia de niveles inicialmente identificado, se deberá disminuir las siguientes “pérdidas”:

- Diferencia de nivel entre la entrada inicial de agua y la entrada a la toma de agua del tubo de presión.
- Diferencia de nivel entre la salida de la turbina y el lecho inferior del río.
- Pérdidas de cabezal hidráulico por fricción en tubería.
- Pérdidas de conversión de energía en la turbina (ineficiencias).
- Pérdidas de energía en el electrogenerador.

Los parámetros para cálculos de Costos de implementación de estas turbinas se consideran

los siguientes factores:

- Costos de operación y mantenimiento
- Costos administrativos
- Producción de energía anual
- Precio de venta de energía
- Total venta de energía
- Superávit para pago de inversiones
- Tasa interna de retorno
- Financiamiento

Como ejemplo en Ecuador se desarrollan los siguientes proyectos hidroeléctricos, (La información abajo especificado es tomada del CELEC- Corporación Eléctrica del Ecuador).



MAZAR DUDAS

Este proyecto se encuentra ubicado en la provincia de Cañar, cantón Azogues. Tiene una capacidad nominal de 21 MW, compuesto por tres centrales hidroeléctricas, Dudas (7.40 MW), Alazán (6.23 MW) y San Antonio (7.19 MW) con caudales medios anuales de 2.90 m³/s, 3.69 m³/s y 4.66 m³/s respectivamente, con una inversión aproximada 45.5 millones de dólares. El proyecto tiene una producción media anual de 125.3 GWh.

SOPLADORA

El proyecto Hidroeléctrico Paute-Sopladora se encuentra ubicado en las provincias del Azuay y Morona Santiago. El proyecto tendrá una potencia instalada de 487 MW, con una producción media anual de 2800 GWh, y con una inversión aproximada de US\$685.7 millones (no incluye costos de financiamiento). Al momento el proyecto se encuentra en etapa de construcción, y se prevé su ingreso para mediados del año 2015.

MANDURIACU

Este proyecto pertenece a la cuenca del río Guayllabamba, ubicado en la vertiente occidental del país. Se prevé una potencia instalada de 60 MW, con una energía media anual de 356 GWh, presentando su mayor productividad entre los meses de noviembre a febrero, cuando se presenta el estiaje en la zona oriental. Se estima su ingreso a operación comercial para mediados del año 2015.

DELSI-TANISAGUA

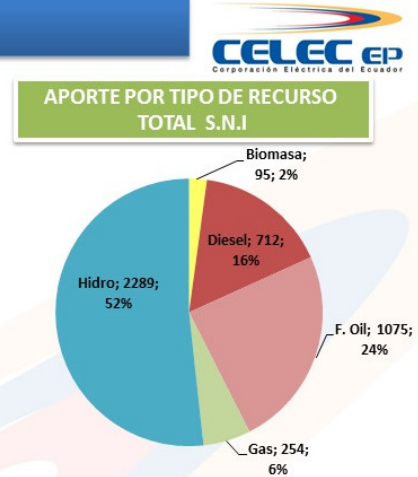
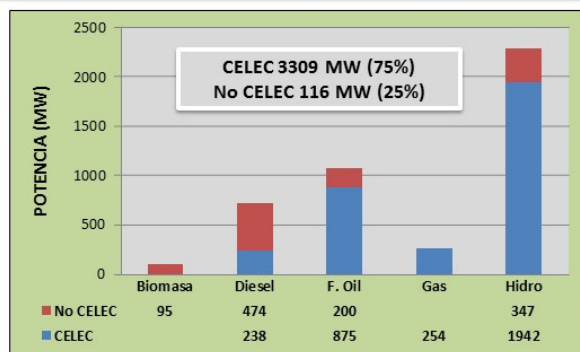
Es un proyecto hidroeléctrico que captará los caudales de los ríos Delsi y Tanisagua, ubicado a unos 36 km de Yanacocha en la ciudad de Loja. Se prevé una potencia instalada de 116 MW, con una energía media anual de 906 GWh. Se estima que inicie su operación comercial para fines del año 2015. Presupuesto US\$ 215.8 MM, no incluye costos de financiamiento.

QUIJOS

El proyecto Hidroeléctrico Quijos se ubica aproximadamente a 80 km al sureste de la ciudad de Quito y a 17 km de la población de Papallacta. El proyecto consiste en captar las aguas de los ríos Papallacta y Quijos, para generar hidroelectricidad con una potencia instalada de 50 MW y una energía media anual de 355 GWh. Se estima que inicie su operación comercial para fines del año 2015. Presupuesto US\$ 110.8 MM, no incluye costos de financiamiento.

MINAS SAN FRANCISCO

Este proyecto hidroeléctrico se encuentra ubicado entre las provincias del Oro y Azuay. Se prevé una potencia instalada de 276 MW, con una energía media anual de 1321 GWh. Se estima que inicie su operación comercial para inicios del año 2016. Presupuesto US\$ 501.5 MM, no incluye costos de financiamiento.

POTENCIA INSTALADA EN EL S.N.I.**5.4 EFICIENCIA DE CONVERSIÓN DE TURBINA**

Es la relación entre potencia del eje del rotor y la potencia hidráulica. Existe ineficiencia durante la transmisión La *POTENCIA EFECTIVA* depende de :

- Fracción de caudal de río
- Pérdidas en circuito hidráulico: Fricción en tubería de presión, acoples, etc.
- Eficiencia de turbina.

EJEMPLO: Sea un arroyo con caudal

mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Caudal m ³ /s	0.8	0.9	1.0	0.85	0.75	0.65	0.55	0.5	0.55	0.50	0.65	0.7

No debe tomarse más de 40% de caudal (en este ejemplo) . La caída es de 25 metros pérdidas de 5 metros, eficiencia es de 0.62%. Determine la potencia mecánica a obtenerse

Solución:

- A. Tómese caudal mínimo del río 0.5 m³ / s.(correspondiente al mes 8).
- B. Caudal a usar en central $0.4 * 0.5 \text{ m}^3 / \text{s} = 0.20 \text{ m}^3 / \text{s}$.
- C. Altura efectiva 25 m – 5 m (altura física menos pérdida hidráulica de altura)= 20m
- D. Flujo de masa
 $m \text{ flujo} = \text{densidad} * \text{Caudal} = 1000 \text{ kg} / \text{m}^3 * 0.2 \text{ m}^3 / \text{s} = 200 \text{ kg} / \text{s}$.
- E. Potencia efectiva.-

Pot efect= m flujo * gravedad * altura efectiva* eficiencia =

$$200 \text{ kg} / \text{s} * 9.8 \text{ m/s}^2 * 20 \text{ m} * 0.62 \text{ kw (eje)/kw (hidráulico)} * \text{kw}/1000 \text{ w} \\ = 24.3 \text{ kw efectivo}$$

NOTA: Si se acopla un generador eléctrico a la turbina hidráulica se deberá incluir la eficiencia de conversión electromecánica del generador.

6 — ENERGÍA DE LA BIOMASA

Objetivo del capítulo VI

- Identificar y describir la biomasa y su diferentes formas de producción y explotación
- Estimar la capacidad de energía proveniente de la biomasa y sus derivados
- Describir las diferentes transformaciones y procesos que se realizan a la biomasa para la obtención de energía
- Conocer los aspectos básicos en el desarrollo tecnológico del empleo de la biomasa como fuente de energía
- Interpretar aspectos transversales relacionados a la aplicación de la biomasa como: agricultura, alimentación, medioambiente, entre otros

6.1 Generalidades de Biomasa

6.1.1 Introducción

Para la mayoría de la población mundial, las formas más familiares de energía renovable son las que provienen del sol y del viento. Sin embargo existen otras fuentes de energía, como leña, carbón, cascarilla de arroz, que provienen un alto porcentaje de la energía consumida en el mundo y tienen un potencial para suplir mayores volúmenes.

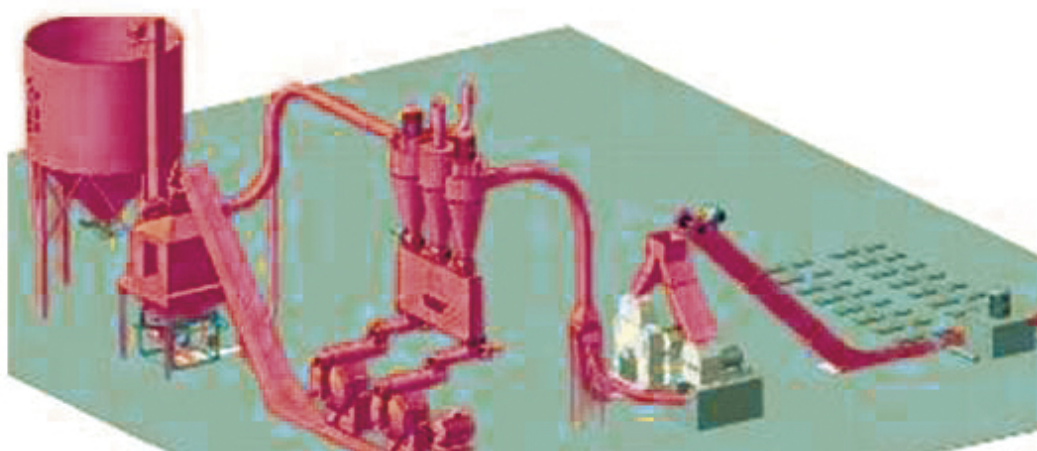
Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de procesos más eficientes y limpios para la conversión de biomasa en energía; transformándola, por ejemplo, en combustibles líquidos o gaseosos, los cuales son más convenientes y eficientes. Así aparte de la combustión directa, se pueden distinguir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

Las fuentes más importantes de biomasa son los campos forestales y agrícolas pues en ellos se producen residuos (rastros) que normalmente son dejados en el campo al consumirse solo un bajo porcentaje de ellos con fines energéticos. En la agroindustria, los procesos de secado de granos generan subproductos que son usados para generación de calor en sistemas de combustión directa; tal es el caso del gabazo de caña de azúcar, la cascarilla de café y de arroz. Por otro lado, los centros urbanos generan grandes cantidades de basura compuestas en gran parte, por materia orgánica que puede ser convertida en energía después de procesarla adecuadamente.

Las denominadas granjas energéticas pueden cumplir un porcentaje significativo de los requerimientos energéticos mundiales y, al mismo tiempo, revitalizar las economías rurales, proveyendo energía en forma independiente y segura y logrando importantes beneficios ambientales. Las comunidades rurales, proveyendo energía en forma independiente y segura y logrando importantes beneficios ambientales. Las comunidades rurales pueden ser, entonces, energéticamente auto suficientes en un alto grado, a partir del uso racional de los residuos y administrando inteligentemente la biomasa disponible en la localidad.

El uso de biomasa en combustión industrial es muy común en Ecuador. Tanto especies forestales leñosas como restos de cáscaras y ramajes lignocelulosicos son utilizados típicamente en combustión en hornos y calderos industriales.

Figura 6.1: Calderas madereras



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

Un caso práctico son los calderos de las plantas madereras, que utilizan los restos de madera como combustible, como se observa en el modelo de la figura 6.1

6.1.2 Fundamentos de Energía de Biomasa

En el presente estudio, se cubren aplicaciones energéticas de la biomasa. Por tanto, se considerará bajo el nombre de Biomasa toda forma derivada de plantas, así como ciertos residuos de animales (estiércol en particular). Las principales formas de biomasa consideradas serán:

- Leña productos leñosos y residuos forestales
- Material de plantas herbáceas
- Cultivos Agrícolas
- Residuos Orgánicos de desechos municipales

La biomasa tiene normalmente un alto contenido de humedad; así la leña verde por ejemplo contiene entre 20 y 60% de humedad como Leña verde. El poder calorífico está entre 18 y 20 MJ / Kg para biomasa forestal (base seca); para pajas es 17MJ/ Kg. El contenido de azufre de la biomasa vegetal está en el rango entre 0.01 y 0.1 %; por comparación el carbón mineral contiene entre 0.5 a 5 % de azufre.

Los carbohidratos son los componentes más abundantes de tejidos de plantas y algunos animales. Se clasifican como: Mono-Di-Tri- Tetra- Poli- sacáridos de acuerdo al número de grupos de moléculas que los conforman. Casi todos los monosacáridos contienen 5 ó 6 átomos de carbono en su molécula de azúcar, denominados pentosa y hexosa respectivamente. El azúcar de caña (15 % sucrosa) puede descomponerse por hidrólisis, generando azúcares de 6 átomos de carbono que son glucosa y fructosa. El almidón, presente en cereales, tubérculos, etc. es un polisacárido constituido por cadenas rectas y ramificadas de glucosa. Hidrólisis por medio de ácidos ó enzimas denominas amilasas genera azúcares de glucosa.

Para producir alcohol los productos con azúcares y almidón son directamente procesados, tal como se muestra en una sección posterior. Compuestos celulósicos y lignínicos tienden a poseer una mayor resistencia natural a la hidrólisis ácida y enzimática.

La energía de biomasa consiste en la utilización de materia orgánica como fuente energética. Estos recursos biomásicos pueden agruparse de forma general en agrícolas y forestales. En concreto, la biomasa es un tipo de combustible renovable que se puede utilizar para calefacción, y consiste en la extracción de la energía solar acumulada durante el proceso natural de la fotosíntesis en las plantas.

Esta energía renovable, es utilizada dentro de un proceso continuo. La combustión de los componentes de la biomasa aprovecha el carbono que hay en la atmosfera y no el que se extrae del subsuelo, por lo tanto esta no contribuye al efecto invernadero. Este tipo de energía es perfectamente aplicable en las calderas, permitiendo ahorrar de más de un 50 % con respecto a los combustibles más tradicionales.

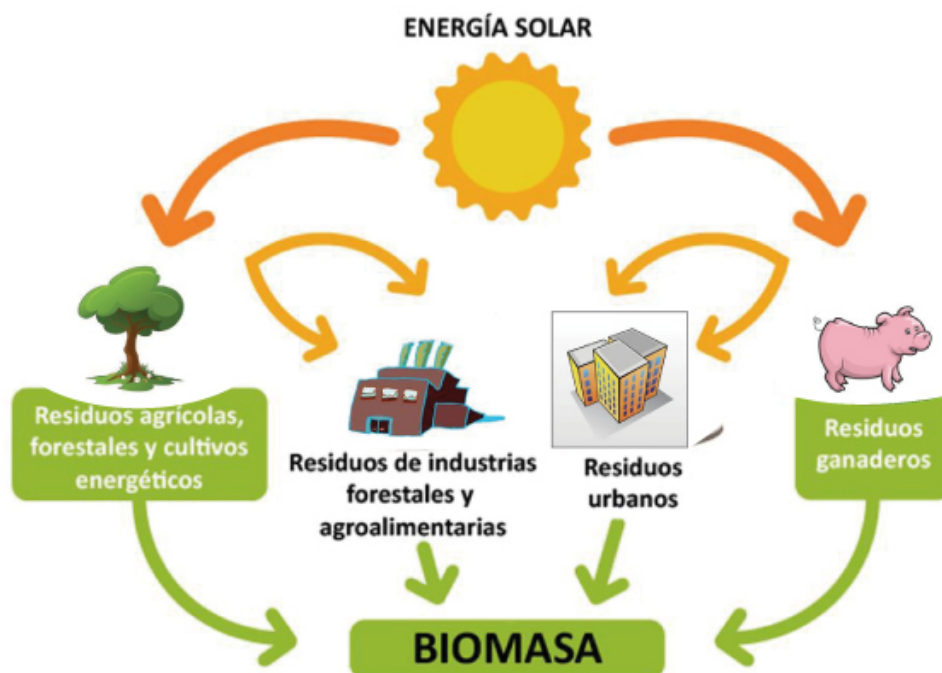
La mayoría de estas fuentes de energía renovables, incluyendo la energía de la biomasa procede originariamente del Sol (figura 6.1.2). Se podría determinar que la biomasa es la energía solar convertida por la vegetación, mediante el proceso de fotosíntesis, en materia orgánica (energía química almacenada), la cual puede recuperarse por combustión directa o mediante su proceso de transformación en otros combustibles. Como se observa en la figura.



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

Como ya se ha indicado la biomasa primaria es vegetal, sin embargo, esta puede ser transformada por otros seres vivos que se nutren de la misma y generan la denominada biomasa animal o biomasa de los residuos animales. Asimismo, diversas actividades industriales que manejan biomasa vegetal o animal generan subproductos. Por último, los núcleos de población, fruto de la actividad cotidiana de sus habitantes, también generan residuos. Como se aprecia en la figura 6.2.

Figura 6.2: Generación de biomasa



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

6.1.3 Fuentes de biomasa

La biomasa consiste en la utilización de materia orgánica como fuente energética.

Existen diferentes tipos de biomasa que pueden ser utilizados como recurso energético. Aunque se pueden hacer multitud de clasificaciones, se ha escogido la clasificación más aceptada, la cual divide la biomasa en cuatro tipos diferentes: biomasa natural, residual seca y húmeda y los cultivos energéticos.

Estos recursos biomásicos pueden agruparse de forma general en agrícolas y forestales. En concreto, la biomasa es un tipo de combustible renovable que se puede utilizar para calefacción, y consiste en la extracción de la energía solar acumulada durante el proceso natural de la fotosíntesis en las plantas.

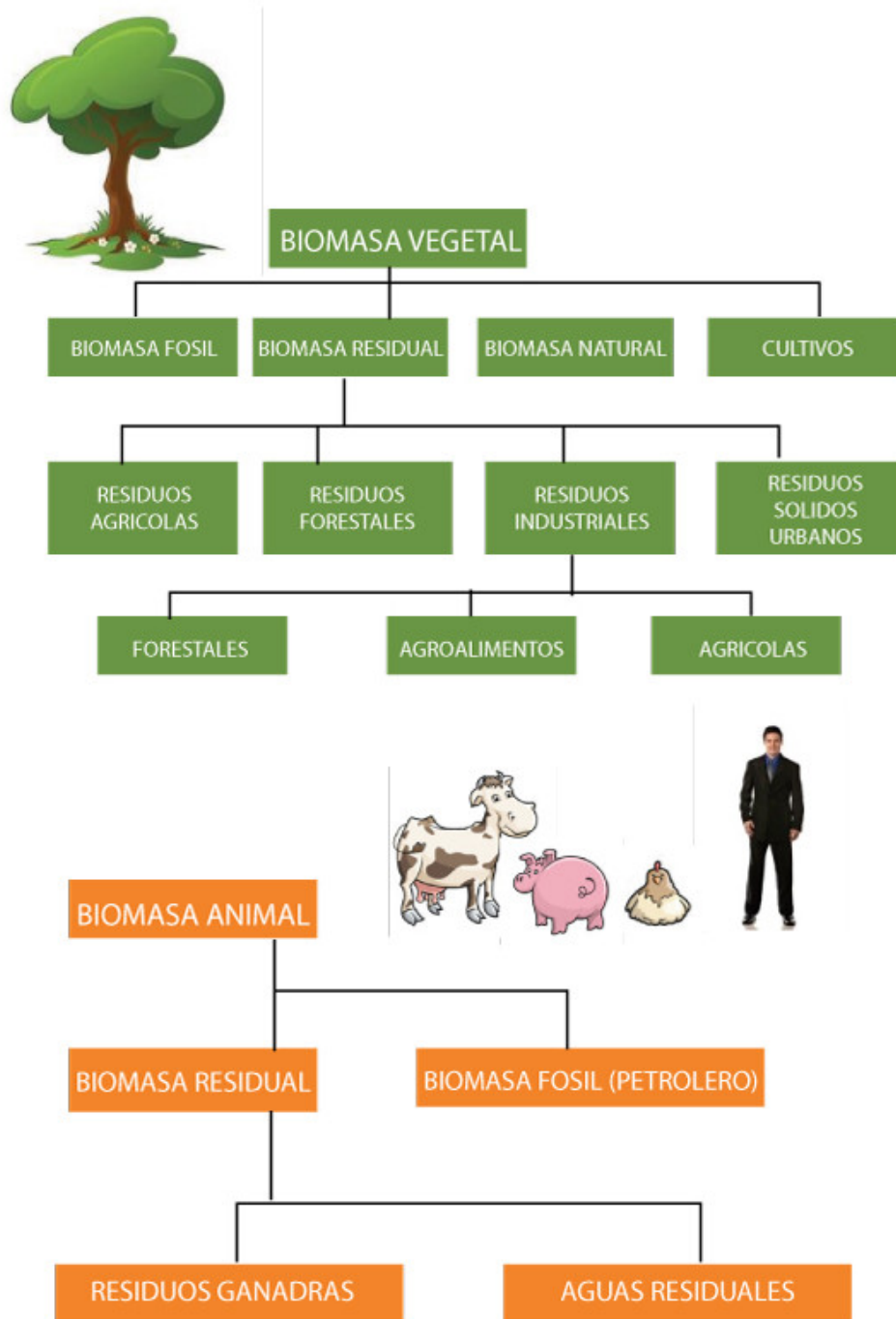
La biomasa mediante estos procesos almacena a corto plazo la energía solar en forma de carbono. La energía almacenada en el proceso fotosintético puede ser posteriormente transformada en energía térmica, eléctrica o carburantes de origen vegetal.

Dependiendo de si los materiales orgánicos resultantes han sido obtenidos a partir de la fotosíntesis o bien son resultado de la cadena biológica se pueden distinguir dos tipos de biomasa:

- **Biomasa vegetal:** Resultado directo de la actividad fotosintética de los vegetales.
- **Biomasa animal:** Se obtiene a través de la cadena biológica de los seres vivos que se alimentan de la biomasa vegetal.

Las biomásas vegetales y animales producidas no son utilizadas por el hombre en su totalidad lo que conlleva la generación de residuos sobrantes de la misma. También se expulsa a la naturaleza gran parte de la biomasa utilizada. El conjunto de los residuos orgánicos de producción o consumo de la biomasa reciben el nombre de “**biomasa residual**”, también aprovechada en la obtención de energía. Estos residuos de biomasa fosilizados a lo largo del tiempo constituyen la “**biomasa fósil**”, concepto que engloba a los denominados combustibles fósiles que actualmente conocemos, carbón, petróleo, gas natural, etc., como se aprecia en la figura 6.3.

Figura 6.3: Biomasa Vegetal y Animal



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

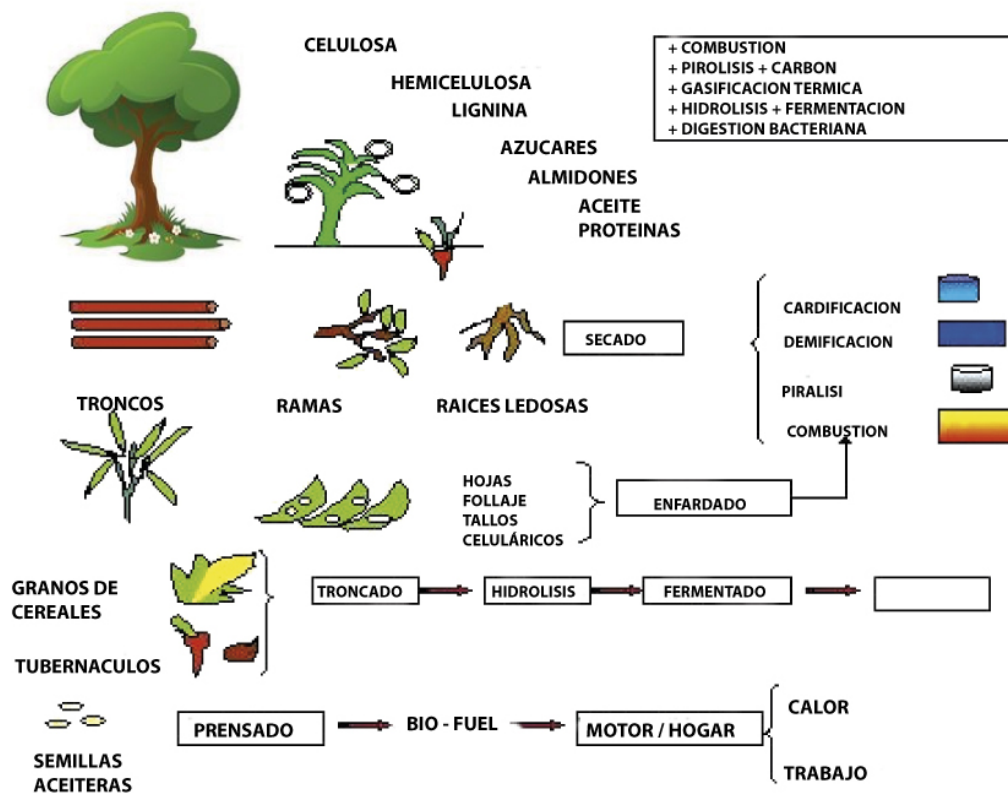
La biomasa (**vegetal**) se genera en el proceso de la fotosíntesis por el cual las hojas de las plantas toman dióxido de carbono y agua junto con fotones de la luz solar para convertirlos en moléculas de glucosa y liberar oxígeno atmosférico. Detalles del proceso fotosintético se dan en una sección separada. La biomasa vegetal se distribuye entre el tronco (tallo en las herbáceas) ramas, follaje y hojas, raíces, corteza, semillas. Los frutos tienen un mayor componente de azúcares y almidones con algo de celulosa. En el otro extremo los troncos y raíces

de variedades forestales están constituidos principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina. Las raíces de tubérculos contienen almidones en mayor proporción. Todos los componentes de la biomasa contienen energía química almacenada la cual puede ser liberada mediante procesos de oxidación. En términos generales, el rendimiento de la planta depende directamente de:

- Variedades Vegetales (C-4: la caña de azúcar, remolacha azucarera, sorgo; C-3: 95 % de las plantas)
- Nivel de radiación solar durante la época de crecimiento de la planta (e indirectamente, la temporada).

Por otro lado las condiciones para la conversión fotosintética máxima (y rendimiento de la planta) son:

- Cobertura de copa completa durante todo el año
- Ni la baja temperatura ni el tiempo seco
- Nutrientes adecuados y el suministro de agua
- No hay pérdidas por plagas o enfermedades
- Relación de conversión / utilización real es de 1 a 2 % (fracción de 0,01 a 0,02)



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

La biomasa se utiliza en forma sólida, líquida y gaseosa en generación de electricidad, calor y la producción de biocombustibles. Más del 70% del total de energía producida a partir de fuentes de energía renovables en el año 2010 fue proporcionada por la biomasa. **Este párrafo fue tomado de un estudio de mercado para la utilización de fuentes alternas de energía en Alemania -biomasa / año 2012.**

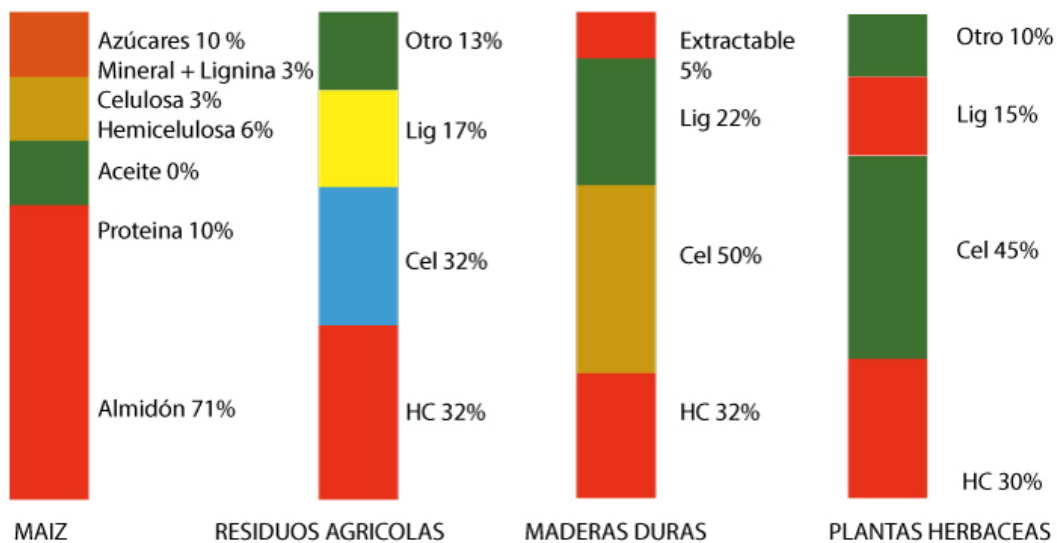
6.1.4 Tipos de Biomasa

La **Biomasa celulósica** es una mezcla de polímeros carbohidratos conocidos como celulosa, hemicelulosa y lignina. La fracción principal es celulosa, entre 40 y 50%, hemicelulosa, entre 20 y 40%, mientras que el resto es lignina con un poco de extractables. Celulosa consiste de moléculas de glucosa unidas en una larga cadena de estructura cristalina. Hemicelulosa es un conjunto de cadena larga de azúcares sin la estructura cristalina. Lignina es un polímero complejo que rodea las paredes de la celulosa y es más resistente a la descomposición ácida y bacteriana. La Energía de la biomasa lignocelulósica ha sido típicamente convertida por métodos termoquímicos en particular combustión, pirólisis, gasificación. Sin embargo en décadas recientes ha habido un surgimiento creciente de producción de alcohol (etanol) a través de la combinación de hidrólisis enzimática y fermentación del azúcar.

La resistencia natural a la hidrólisis se la supera con un pretratamiento con solventes orgánicos y ácidos diluïdos con adición de calor; esto ocasiona que la hemicelulosa se hidrolice formando xilosa, fácilmente removible, quedando un material poroso de básicamente celulosa y lignina más accesible al ataque enzimático. La producción de glucosa subsecuentemente se hace por hidrólisis generando glucosa, la cual puede ser fermentada utilizando variedades apropiadas de hongos (*Saccharomyces Cerevisiae*) y bacterias. La lignina puede separarse y ser utilizada como combustible térmico directo.

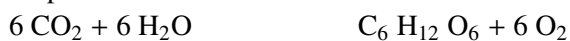
Deben considerarse costos de proceso así como relaciones de energía para la evaluación de los procesos. Tal como se aprecia en la figura 6.4 los componentes de los residuos.

Figura 6.4: Componentes de los residuos



6.2 Determinación de Producción de Biomasa

La producción de biomasa inicia con la Reacción Fotosintética



De lo cual los valores de CONVERSIÓN FOTOSINTÉTICA son los siguientes:

ESPECIE	TEORICO MAX	REAL MAX
C4	6.7	% 2-3 %
C3	3.3	% 1 %

Mientras que las CONDICIONES DE PRODUCCIÓN BIOMÁSICA MÁXIMO responden a los siguientes factores:

- Cobertura completa durante año
- Temperatura entre 20 – 30 ° C
- Nutrientes Adecuadas
- Control de Plagas y enfermedades

Tómese en consideración que el Poder calorífico (Base Seca) Es de 17.5 MJ / kg = 4.2 Mcal / kg.

CÁLCULO DE PRODUCCION ANUAL

Tómese un nivel de insolación diario de

14.5 MJ / m² D

34400 M cal / ha- d Insolación

Biomasa Anual= (Insolación * Conversión Global) / Poder calorífico

En el cuadro 6.1 se detalla la Producción de principales Productos en Ecuador, elaborada por el MAGAP Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pecuaria.

Cuadro 6.1: Principales residuos Agroindustriales

Producto	Producción TM	Residuos	Porcentaje%
Arroz con cascara	837.614	Cascarilla - HUSK	22
		Polvillo (COARSE POWDER)	8,5
Caña de Azucar	5.354.667	Hoja y Cogollo (LEAVES)	31,8
		Bagazo (BAGASSE)	36,3
Palma Africana (fruto)	1.434.037	Raquis (Bundel)	20
		Fibra y cascarrilla	15 – 8
Grano Maiz Duro	700.000	Hoja, tallo y tusa (LEAVES, STALKS, COBS)	68
Soya	78.211	Hoja, tallo y tusa (LEAVES, STALKS, COBS)	67

Fuente: MAGAP 2008

CANTIDAD DE BIOMASA RESIDUAL PRODUCIDO

Tenga en cuenta que hay una gran cantidad de biomasa sobrante de la cosecha, el uso y la transformación de la biomasa . Los tallos , ramas y hojas se mantienen como las sobras en el campo; semillas, cáscaras, mazorcas, etc se generan en el mercado, así como en el interior de

los hogares, y así sucesivamente . La cantidad de un determinado residuo generado se estima a partir de los datos del producto principal (arroz , caña de azúcar , algodón , etc) por medio de los llamados “coeficientes de residuos” , que se define como

$$\text{Coeficiente de Residuos} = \text{Masa de residuo} / \text{masa de producto cosechado}$$

Los valores reales de los coeficientes de residuos tienen que ser evaluados en el campo . Directrices pueden ser tomadas de puWaste por ejemplo.

De residuos agrícolas de arroz cáscara de arroz tallos de algodón Tallos

Residuo Coef

Como ejemplo , considere la posibilidad de una cierta región 100 000 toneladas se generan por año de un cultivo determinado (grano de arroz, caña de azúcar, etc.) Suponga que el coeficiente de residuos es de 1,6 ; determinar la cantidad de residuos generados:

$$\begin{aligned} \text{Residuo} &= \text{Producto} * \text{Residuo Coef} = 100\ 000 \text{ Ton} / \text{año} * 1.6 \\ &= 160\ 000 \text{ toneladas de residuos por año} \end{aligned}$$

El mismo principio se aplica a los productos sobrantes de transformación de la madera

Para el caso de la industria de procesamiento de madera, como un ejercicio , determinar la cantidad de vapor a ser generada por las calderas . Utilice la producción real de biomasa residuo 10000 ton/año, una eficiencia de conversión de energía de 0,85 kJ (vapor) por kJ (combustible); un calor de combustión de la biomasa residual de 17 000 kJ / kg , y un valor de energía en el vapor de 2.300 kJ / kg .

$$10000 \text{ ton/año} * 17000 \text{ kJ/kg} * 1000 \text{ kg/ton} = 1.70 * 10^{11} \text{ kJ/año}$$

$$1.70 * 10^{11} \text{ kJ/año} \text{ aplicando factor de conversión} = 170 * 10^6 \text{ MJ/año}$$

$$170 * 10^6 \text{ MJ/año} * 0.85 \text{ kJ (vapor) por kJ (combustible) } =$$

$$144.5 * 10^6 \text{ MJ vapor/año.}$$

$$\text{El flujo másico de vapor} = 144.5 * 10^6 \text{ MJ vapor/año} * \text{Kg vap/} 2300 \text{ KJ}$$

$$\text{El flujo másico de vapor} = 62.83 * 10^3 \text{ ton vapor/año}$$

Por otra parte, y suponiendo (no es cierto en la planta industrial real) que todo el vapor se utilizará para la generación de electricidad y que una eficiencia global de la conversión de 0,23 kwh (elect) / kwh (combustible) se podría aplicar, determinar la Potencia (cantidad de electricidad al año (330 días) que se esperaba)

$$10000 \text{ ton/año}$$

$$15000 \text{ MJ/Ton}$$

$$0.23 \text{ kw electrico/kw térmicos}$$

$$15000 * 10000 = 150 * 10^6 \text{ MJ/año}$$

$$\text{Potencia} = 150 * 10^6 \text{ MJ/año} * (1 \text{ año}/330 \text{d}) * (1 \text{ día}/24 \text{horas})$$

$$*(1 \text{ hr}/3600 \text{ seg}) * 0.23 \text{ Mw eléctrico/Mw térmicos.}$$

$$\text{Potencia} = 1.21 \text{ MW eléctricos.}$$

La determinación de la cantidad de un residuo particular se establece por medio de los *COEFICIENTES DE RESIDUO*. Esto se mide por la relación entre masa de residuo y la masa del producto considerado. Así por ejemplo: Un coeficiente de por ejemplo 2.0 para algodón significa que se produce 2.0 Kg de residuo por cada Kg de algodón en fibra. Véase el cuadro 6.2 de coeficientes de residuos.

Cuadro 6.2: Coeficiente de residuos de cultivo

CULTIVO	COEFICIENTE	RANGOS
Soya	0.55 – 2.60	
Maíz	0.55 – 1.20	
Algodón	1.20- 3.00	
Trigo	0.47 – 1.75	
Cebada	0.82- 1.50	
Arroz entero	0.38- 1.25	
Centeno	1.20- 1.95	
Avena	0.95- 1.75	
Sorgo	0.50- 0.85	
Caña de Azúcar	0.13- 0.25	



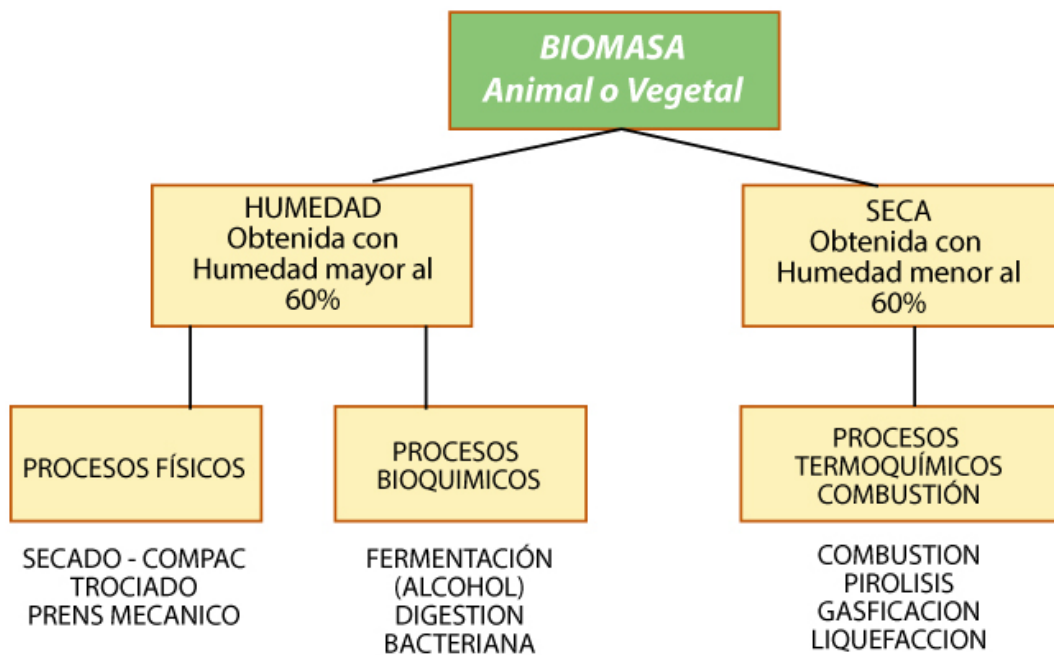
6.3 Procesos de Conversión de Biomasa

La Biomasa debe de ser convertida en forma más aprovechable para otros procesos, tales como carbón vegetal, briquetas, gas, etanol y electricidad.

A continuación se mencionan los procesos de conversión más importantes y su clasificación:

- Procesos Físicos
- Procesos de Combustión directa
- Proceso Termo-químico
- Procesos Bio-químicos

Figura 6.5: Procesos de Conversión aplicados a la Biomasa Húmeda y Seca



6.4 Proceso de Conversión Termoquímica

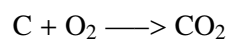
Son denominados así por transformar la biomasa en un producto gaseoso, líquido y sólidos de mayor valor calorífico y densidad, estos productos a su vez pueden ser utilizados como combustible para generar calor y electricidad.

El uso del proceso básico de la Pirolisis o carbonización permite obtener como producto final un combustible sólido, gaseoso ó líquido.

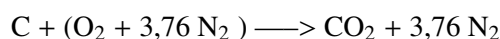
Entre estos procesos se encuentra la producción de carbón vegetal y la gasificación , liquefacción.

El valor calorífico de cualquier materia combustible se mide en una unidad calorimétrica. Esto establece el calor de la reacción de un gramo de materia combustible de combustión (oxidación) bajo condiciones normalizadas (una atmósfera y 25 grados C). En el caso de la biomasa, el material bajo prueba se seca primero a condiciones “sequedad total” a unos 105 grados C. Valores calóricos de la biomasa puede ser extraídas del libro de texto (Johansson et al) Tabla 4, página 750, en Giga - julios / Ton (equivalente a MJ / kg o 1.000 kJ / kg) . Conversión a kJ / kg.

La cantidad de energía disponible directamente en los (seco) fibras de la biomasa se mide por medio de poder calorífico. Esta es la cantidad de energía liberada durante la reacción de combustión (oxidación) . Por ejemplo , con carbón vegetal (suponiendo que sólo contiene carbón)

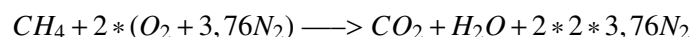


Pero el aire contiene N_2 (Aprox. 79% en volumen) y O_2 (21%). Por lo tanto, por cada molécula de O_2 , la cantidad de N_2 es $79/21 = 3,76$. Por lo tanto, la reacción real de carbón con aire por encima debe ser representado por :



Donde se asume que la N_2 (nitrógeno molecular) no reacciona. En realidad, alguna forma de óxidos nitroso y nítrico se generan, y esto constituye un problema debido a la generación de la contaminación.

La molécula de biomasa (moléculas complejas de azúcar y polímeros), así como de hidrocarburos contiene átomos de carbono, así como átomos de H, O, y pequeñas cantidades de N, S y otros elementos. El hidrocarburo representante más simple es el metano CH_4 , que la reacción de combustión en el aire es



Tenga en cuenta que las moléculas de agua se forman en la combustión de básicamente todos los hidrocarburos y biomasa materia. Por supuesto, pequeñas cantidades de otros productos como NO_x , SO_x , y otros compuestos también se generan en las reacciones reales. La presencia de este último puede introducir problemas de emisiones a menos que se utiliza algún tipo de sistema de control de emisiones.

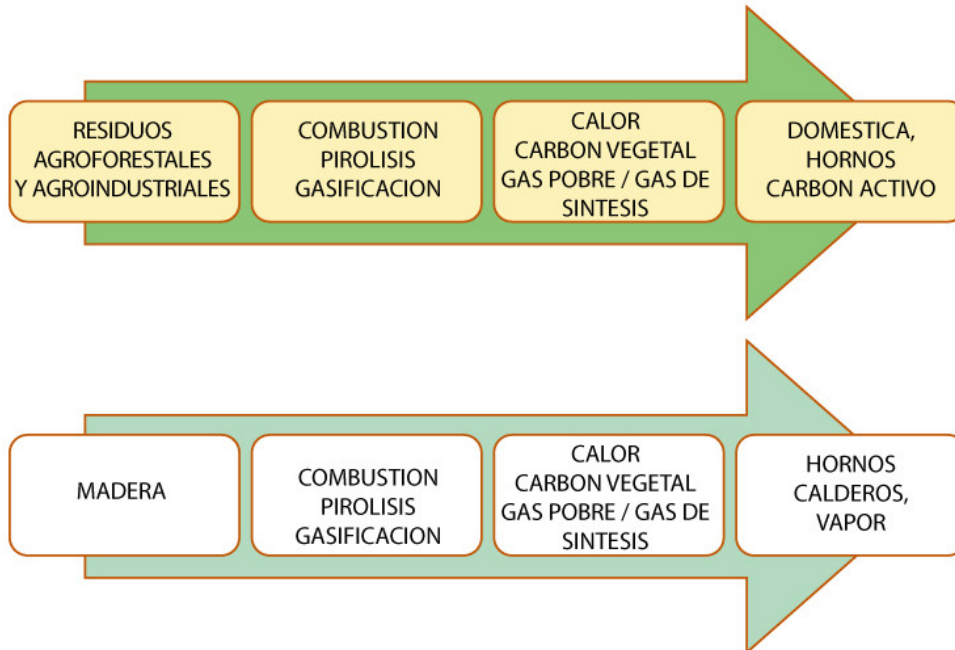
Cuadro 6.3: Contenido energético de algunos recursos englobados bajo el término biomasa residual seca

Biomasa	Alamo	Douglas Abeto	Eucalipto	Leucaena	Bagazo	Carbón
HV (kJ/kg)	19 400	20 400	19 400	19 100	17 300	24 000 a 27 000

El poder calorífico de los residuos agrícolas es de unos 15 000 kJ / kg (db). Para la comparación, el valor de calentamiento de aceite combustible es de aproximadamente 42 000 a 44 000 kJ / kg. Alta HV considera el agua como líquido de combustión, y bajo HV en forma de vapor. Valores bajos de calefacción se utilizan normalmente en los cálculos de combustión.

En la figura 6.6 se puede apreciar los productos finales luego de pasos de transformación de biomasa según ciertos tipos (residuos agroforestales, agroindustriales y madera) empleando procesos termoquímico y combustión

Figura 6.6: Transformación de Tipos de Biomasa asociadas a proceso termoquímico y de combustión



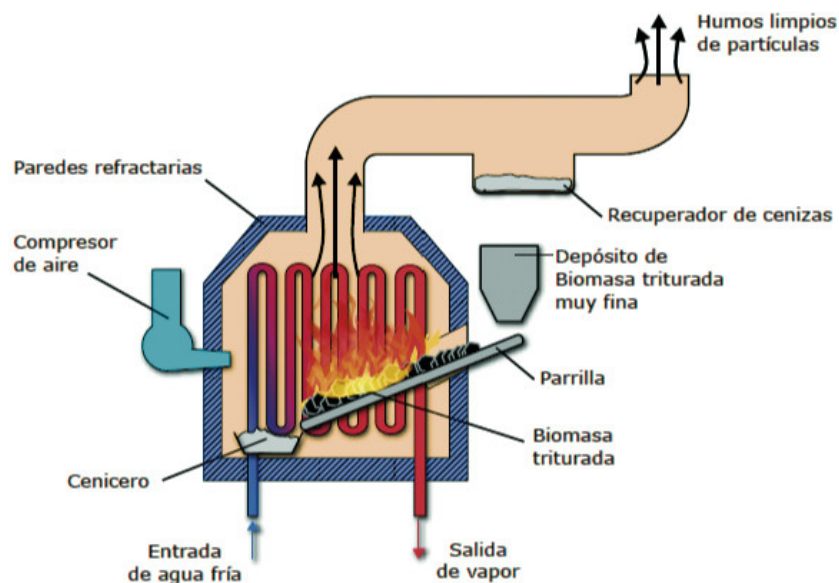
Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

6.5 Procesos de Conversión Directa

Los sistemas de combustión son los más aplicados actualmente para generar calor, el cual puede ser usado para cocción o secado ; además se puede usar para generar vapor que serviría como suministro para otros procesos industriales y generación de electricidad. Se emplean equipos como hornos, calderas, estufas y lechos fluidizados

En la figura 6.7 se muestra un esquema de combustión directa de la biomasa

Figura 6.7: Combustión directa de la biomasa



6.6 Proceso de Conversión Física

Son procesos de transformación en los cuales se emplean procesos de compactación, especialmente a la fitomasa residual. Las principales etapas son:

- Secado Natural
- Astillado
- Secado Forzado
- Molienda
- Tamizado
- Densificación

En la figura 6.8 se muestra el Troceado y astillado de madera

Figura 6.8: Troceado y astillado de madera

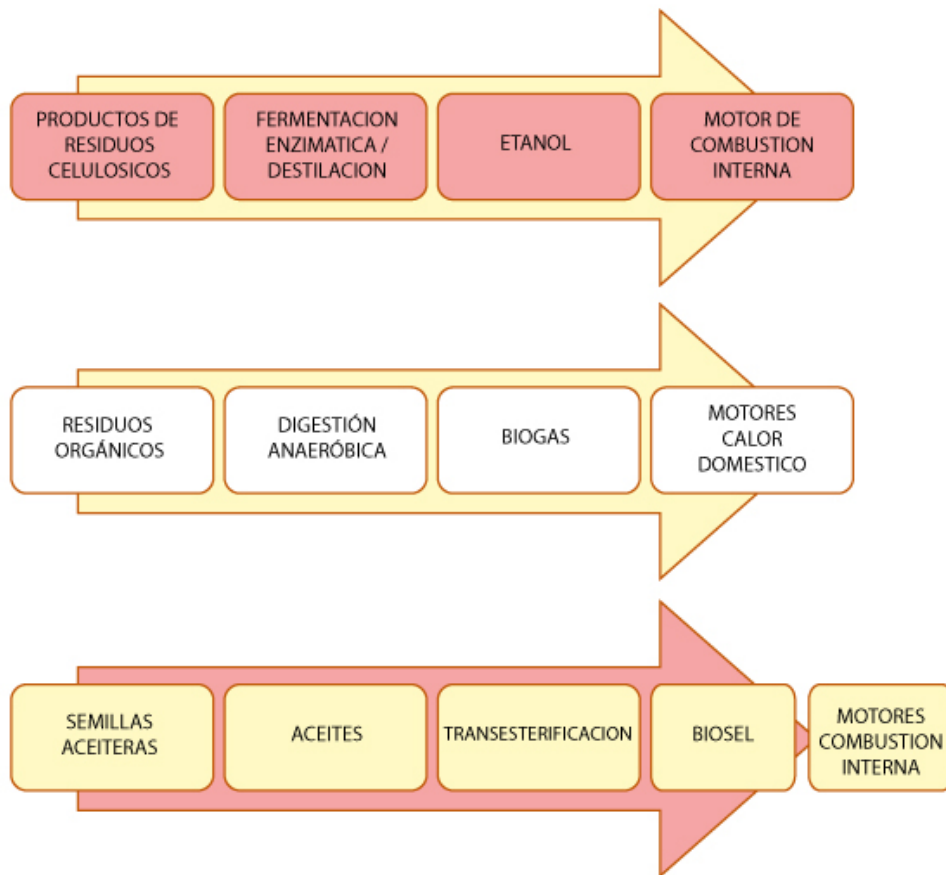


6.7 Proceso de Conversión Bioquímica

Son aquellos que aprovechan las características bioquímicas de la biomasa y la intervención de microorganismos para la producción de combustibles gaseosos y líquidos. Para la aplicación de estos procesos se suele emplear la biomasa húmeda.

Entre estos procesos se encuentran : la digestión anaeróbica y aerobica , genereación de biocarburantes como el etanol y metanol; los gases de relleno sanitario (metano y dióxido de carbono)

Figura 6.9: Transformación de Tipos de Biomasa asociadas a procesos bioquímicos



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

6.8 Combustión y Pirólisis

Son formas más tradicionales de uso energético de la biomasa. El uso industrial de leña como energético en hogares es un ejemplo de ello, en hogares de hornos y calderos, lo mismo que el uso en fogones domésticos para cocción de alimentos.

La combustión de biomasa leñosa en hogares industriales se da típicamente con parrilla sobre la cual se deposita la biomasa; aire se insufla desde la parte inferior, si bien en algunos diseños se ventea por la parte superior. Biomasa desmenuzada tipo hojuelas o astillas como en aserrín de madera y cascaras troceadas, puede también combustionarse en hogar con parrilla con característica de combustión en lecho fijo de cama delgada, cuyos parámetros de altura de lecho debe controlarse. La pirólisis, esto es calentamiento entre 200 a 500° C es un proceso tradicional tanto para la recuperación de material volátil como del residuo carbonizado. Carbón vegetal es obtenido de esta manera, así como alquitrán y otros productos líquidos condensados de los volátiles.

Figura 6.10: HORNO EN EMPRESA USA BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR



6.9 Gasificación

Paso de un líquido a un estado gaseoso, la biomasa es transformada en un gas combustible mediante descomposición térmica y reacciones químicas a altas temperaturas.

Es la interacción entre un agente gasificante (oxígeno, aire, vapor de agua, nitrógeno, dióxido de carbono) y un combustible

Dentro del proceso de gasificación encontramos un conjunto de reacciones por etapas:

- Secado
- Pirólisis
- Oxidación
- Reducción

Figura 6.11: Esquema de una planta de termogasificación



6.10 Biocarburantes: Bioetanol

La fermentación es la conversión de material orgánico desde una forma química a otra usando enzimas producidas por microorganismos vivos. Estos microorganismos se clasifican de acuerdo a su mayor o menor tolerancia a la falta de oxígeno. Algunos requieren oxígeno (aeróbico), otros no lo requieren (anaeróbico) y algunos pueden continuar operando luego que el oxígeno se agota (anaeróbicos facultativos).

La levadura es un tipo de microorganismo anaeróbico facultativo. Como tal, requieren ciertas condiciones para buena operación, en particular temperatura y pH

Las Levaduras son hongos de celda sencilla muy diseminados en la naturaleza. Condiciones óptimas para ellos son PH entre 3.0 y 5.0 y rango de temperatura entre 27 °C y 35 °C . A mayor concentración de celdas de levadura por masa de producto , mayor rapidez , hasta el punto límite, arriba del cual disminuye la producción .

La producción de etanol se realiza a través de la fermentación, por medio de microorganismos de productos vegetales factibles de ser convertidos a azúcares simples.

Algunos productos generan azúcares directamente , mientras que otros son ricos en almidón (starch) o celulosa, los que deben primero descomponerse a azúcares simples, las que pasan luego a la fermentación.

Los pasos generales de la producción de etanol son:

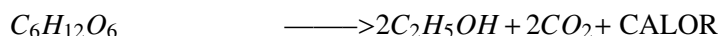
- Limpieza del producto (separación de tierra, piedra y restos metálicos).
- Reducción de almidón y la celulosa, desde sus formas complejas a glucosa básica
- Extracción de los azúcares simples de las plantas que los contienen directamente.

Formas de azúcares simples pueden obtenerse de productos tales como caña de azúcar, remolacha y sorgo por medio de operaciones de prensado y aplastado del producto.

Materias primas ricas en almidones son los granos y ciertas variedades de patatas. Almidón contiene aproximadamente 20 % de amilosa (carbohidrato soluble en agua) y 80 % de amilopectina (insoluble en agua) .

Como la levadura puede convertir sólo azúcares simples a alcohol, los productos ricos en almidón deben desmenuzarse mecánicamente a las partículas mas diminutas posible por medio de operaciones de molido, rompiendo así las paredes de los productos para exponerlas extensamente al agua. La pasta (slurry) así formado se calienta para descomponer las paredes del almidón y generar azúcares compuestos. Luego se puede utilizar enzimas para generar azúcares deseados.

La descomposición de la glucosa a etanol:



condiciones nutricionales, concentración de azúcar, temperatura, infecciones y procesos de destilación.

Los usos de residuos de producción agrícola.- tienden a contener mayor cantidad de celulosa. Tal es el caso de tallos y hojas de cereales , cañas y plantas herbáceas. La celulosa es mas difícil de descomponerse químicamente bajo la acción de procesos ácidos o enzimáticos para generar azúcares simples fermentables a alcohol. La presencia de lignina, un compuesto complejo que rodea la celulosa es aún mucho mas duro a la acción enzimática. Esto mas el contenido parcial de almidones y azúcares fermentables, los convierte en productos de alta productividad de etanol

La Producción Nacional en Ecuador en 3 grandes empresas de capacidad instalada, es de aprox. 150 mil litros/día. Requerimiento para cubrir E-10 nacional total 800 mil litros/día

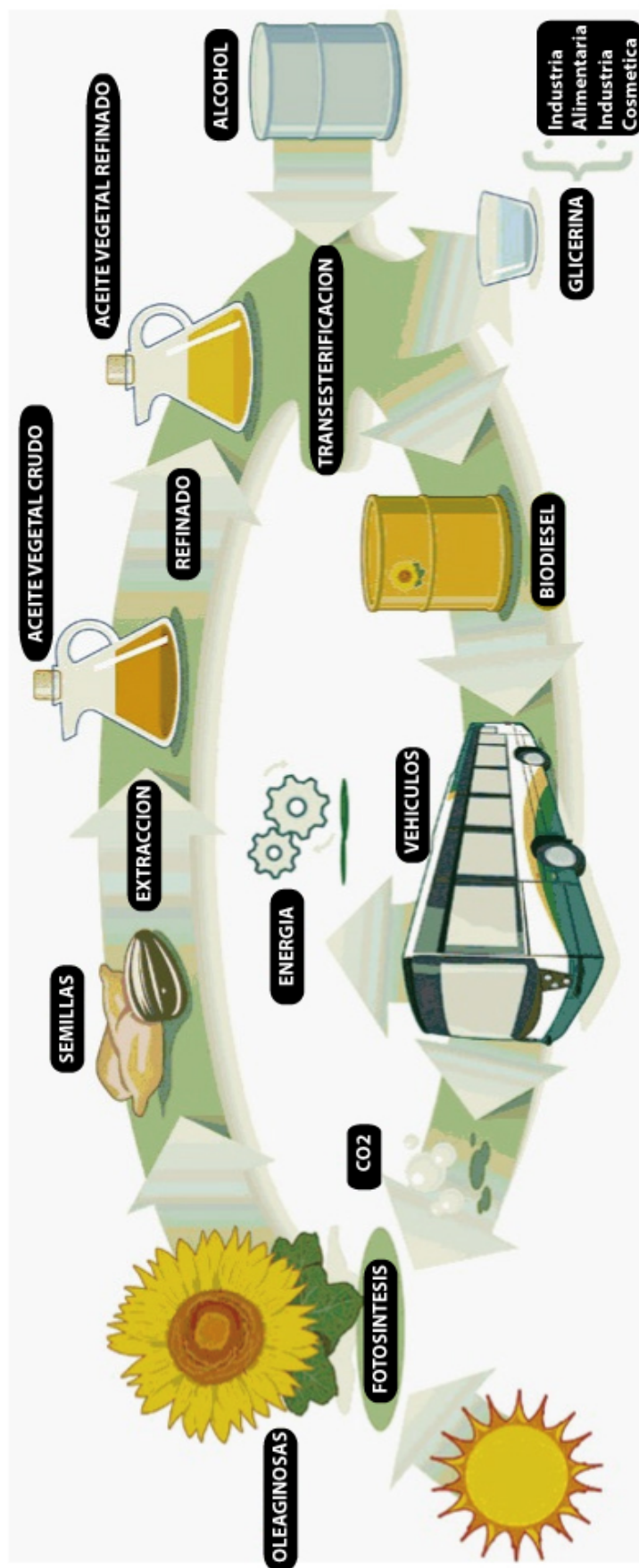
6.11 Biocarburantes: Biodiesel

Es un biocombustible líquido obtenido las materias primas utilizadas actualmente en la obtención de aceites vegetales y en la producción de biodiesel son los aceites de las semillas de plantas oleaginosas convencionales., tambien se puede emplear grasas animales

Lo procesos para la transformacion del aceite en biodisel se basan en la reacción con metanol o etanol (transesterificación) de las moléculas de triglicéridos para producir ésteres .

Es fundamental para producir un biodiesel de calidad deben optimizarse las variables de proceso, tales como el efecto del catalizador, el tiempo y la temperatura de reacción y la proporción molar de alcohol a triglicérido.

Figura 6.12: Ciclo del Biodiesel



Fuente: <http://adaptacionescurricularesparasordos.blogspot.com/2011/04/biodiesel.html>

6.12 Implicaciones ambientales por uso de biomasa

En el cuadro a continuación presentado, se muestra la relación entre nivel de contaminación, ventajas comparativas y fabricación.

En términos generales la obtención de energía eléctrica a partir de la quema de: madera, la producción de etanol a través del fermentado y del biogás; causan impacto ambiental por la generación de Monóxido de carbono, gases de azufre. Y en el caso de la quema de madera genera ceniza.

Se resumen las ventajas comparativas del uso de la tecnología con respecto al uso de la biomasa.

TECNOLOGÍA	NIVEL DE CONTAMINACIÓN	VENTAJAS COMPARATIVAS	FABRICACIÓN
Digestión anaeróbica	Metano producido debe quemarse	Elimina metano de estiércol y partaciones agrícolas. Sustituye otras fuentes térmicas contaminantes Residuo no tiene olor Residuo puede usarse como fertilizante	Tecnología simple puede fabricarse localmente. Amplio mercado
Gasificación	Monóxido de carbono, gases de azufre. Pueden eliminarse en un convertidor catalítico Mínima cantidad de CO ₂	Produce hidrógeno. Alta eficiencia.	En fase de desarrollo comercial. Grandes posibilidades para aprovechamiento en el futuro.
Biocombustibles Etanol Biodiesel	CO ₂ neutro. No contaminante en caso de derrames	Como sustitución de combustibles fósiles total o parcial. Generador de empleo. Asegura precio de venta del aceite	Se aprovecha infraestructura existente en industria azucarera y de palma africana
Quema directa	Ceniza CO ₂ neutro Otros gases	Quema eficiente	Tradicional

En Ecuador, el uso tradicional más importante de la biomasa se da en el sector rural doméstico que, según cálculos, cubre alrededor del 7% de las necesidades de energía primaria, principalmente para cocinar. Se han aplicado nuevas tecnologías de la biomasa en programas rurales (como 65 instalaciones de biogás en el sector ganadero y programas de cocinas eficientes de biomasa

7 — OTRAS FUENTES DE ENERGÍAS

Objetivo del Capítulo VII

- Describir los principales conceptos y aplicaciones tecnológicas de otras fuentes de energía renovable.
- Conocer definiciones básicas de sistemas de acumulación y otras formas de generación secundaria de energía

7.1 Energía del mar

Los océanos, con una superficie de 361 millones de km^2 y un volumen de 1370 km^3 , actúan como sistemas colectores y de almacenamiento de energía, lo cual se manifiesta de diversas formas como:

- Diferencia de nivel entre mareas
- Diferencia de temperatura del agua
- Movimiento de olas

7.1.1 Energía Mareomotriz

La marea es la fluctuación periódica del nivel de los océanos, debida principalmente a la atracción gravitatoria de la Luna y en menor cuantía del Sol. El comportamiento de las mareas y el desnivel de las mismas dependen de la posición relativa de la Tierra, el Sol y la Luna (mareas muertas o vivas), que cambia cada día, y de la proporción mares-tierra.

Figura 7.1: Formación de las Mareas



En general la amplitud de las mareas, es decir, la diferencia entre los niveles más altos (pleamar) y más bajo (bajamar), suele ser pequeña en medio del océano, pero puede alcanzar en determinados puntos del globo terráqueo diferencias considerables. Esta variación en la amplitud permite la generación de energía cinética en el mar que puede ser aprovechada. En la práctica la instalación de una central mareomotriz debe ser en lugares con una diferencia de al menos 5 metros entre marea alta y marea baja.

Figura 7.2: Lugares con máximas amplitudes de Mareas



<http://www.deciencias.net/proyectos/consumer/mambiente/energiamar.swf>

En el Ecuador el INOCAR, es la entidad que mantiene un registro del comportamiento de las mareas de los principales puertos, dentro del control marítimo nacional. Por ejemplo en Guayaquil-Río encontramos un promedio de Pleamar de 3,74 metros y una bajamar de 0,74 metros lo que nos da una diferencia de caída (gradiente pleamar-bajamar) de 3 metros, lo cual plantea un interés a futuro en sector de Guayaquil.

Para la evaluación del potencial energético de las mareas es necesario conocer su frecuencia y magnitud, para lo cual se utilizan los instrumentos llamados mareógrafos, los cuales pueden estar colocados en los buques oceanográficos o en boyas para registrar los cambios de marea. La forma más común de aprovechamiento con fines de generación eléctrica, Actualmente existen dos formas de generación de energía.

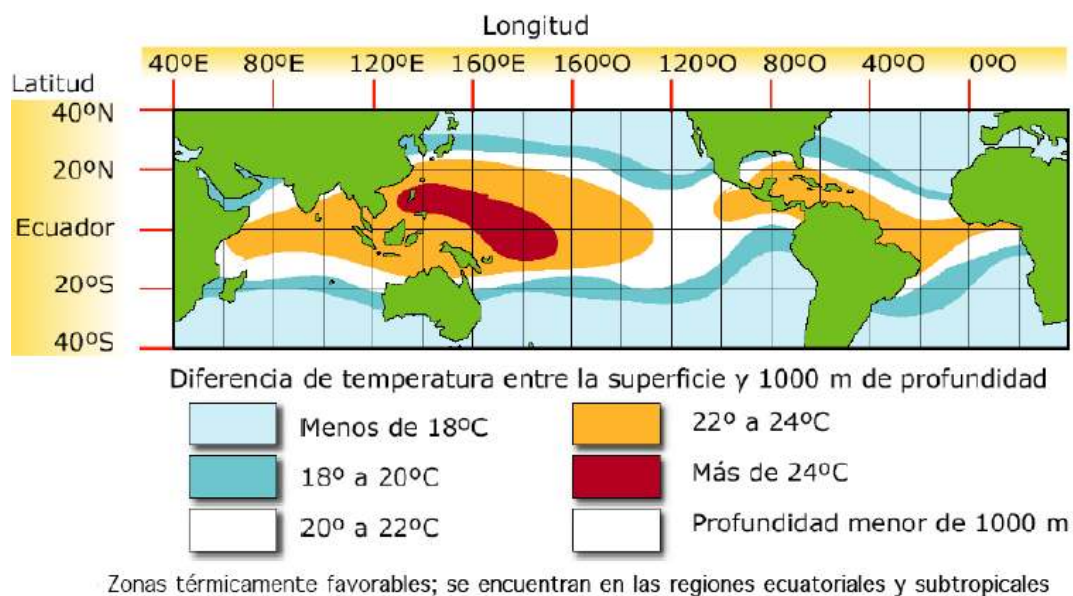
La primera es la utilización de la energía potencial del agua que se almacena en un estuario (el cual se separa del mar abierto mediante un dique con el propósito de constituir un depósito de almacenamiento), normalmente dentro del dique se coloca la casa de maquinas, donde se alojaran las turbinas, las cuales funcionaran producto al desnivel de cota entre el reservorio o embalse del dique y el mar durante el cambio de mareas.

La segunda forma de utilizar la energía de las mareas es colocar turbinas sumergidas en donde la energía cinética del agua se transforme en energía mecánica de rotación en un eje, que conectado a un generador eléctrico produce electricidad en los puntos donde se desplaza las corrientes marinas, este sistema es muy parecido a la generación eólica, la diferencia radica que el fluido en movimiento es el agua en vez del aire.

7.1.2 Energía Maremotérmica

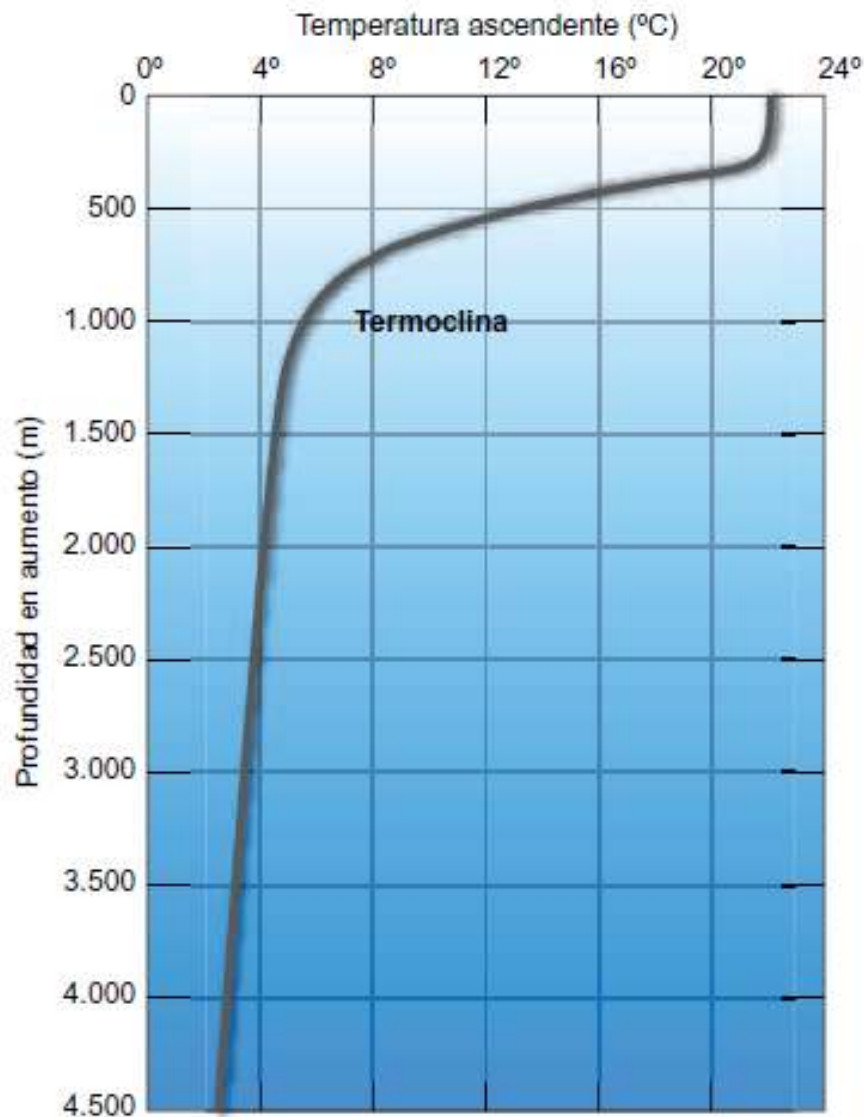
Los océanos constituyen un enorme colector solar, debido principalmente por la radiación solar incidente sobre los mismos, en determinadas condiciones atmosféricas, da lugar a los gradientes térmicos oceánicos (diferencia de temperaturas) a bajas latitudes y profundidades menores de 1.000 metros. Este gradiente de temperatura puede llegar a estar entre los 20°C y 24°C en zonas tropicales.

Figura 7.3: Gradientes Térmicos



A mayor profundidad del mar la intensidad de la radiación decrece, por lo que la temperatura disminuye. Lo que ocasiona que la distribución vertical de temperaturas en el océano abierto presente dos capas separadas por una inter-fase. Una capa superior de agua relativamente caliente, con una temperatura uniforme; esa capa puede extenderse de los 20 a los 200 metros de profundidad, según la ubicación geográfica y sus condiciones climatológicas locales, luego se presenta una franja o zona limítrofe entre los 200 m y 400 m de profundidad, denominada termoclina que puede presentar un descenso brusco de la temperatura y con mayor frecuencia por un cambio gradual. Esta franja, divide a las aguas superficiales, menos densas y menos salinas, de las aguas de las profundidades, más frías, densas y salinas. La temperatura de la capa inferior decrece progresivamente hasta alcanzar 4°C a 1 km.

Figura 7.4: Variación de la Temperatura con la profundidad



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

En la evaluación del perfil de temperatura del mar se emplean: termómetros de mercurio, los termómetros eléctricos, los batitermógrafos y para grandes profundidades, los instrumentos denominados CTD, que se sumergen en el agua desde un barco o plataforma.

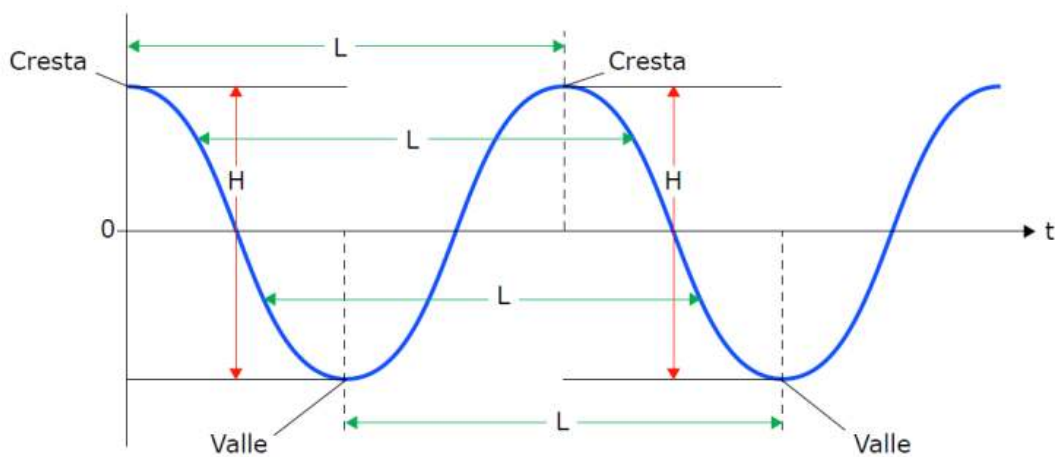
Hoy en día, es una tecnología que se encuentra en investigación principalmente en lograr un dispositivo o máquina térmica que funcione como una central térmica convencional y que pueda operar entre una temperatura relativamente cálida como es la de la superficie del océano y otra más baja como la temperatura del agua que se encuentra a grandes profundidades, a bajo costo de diseño y operación.

7.1.3 Energía Undimotriz

Las olas son ondas superficiales generadas por diversas causas como: el viento, las fuerzas de atracción gravitacional que ejercen la Luna y el Sol sobre las masas oceánicas, los maremotos, las tormentas, etc.

Las olas pueden ser caracterizadas empleando conceptos del movimiento ondulatorio como su longitud de onda, L , altura de onda, H , y el periodo, T

Figura 7.5: Características de un Onda senoidal pura



Fuente: Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTS-ESPOL

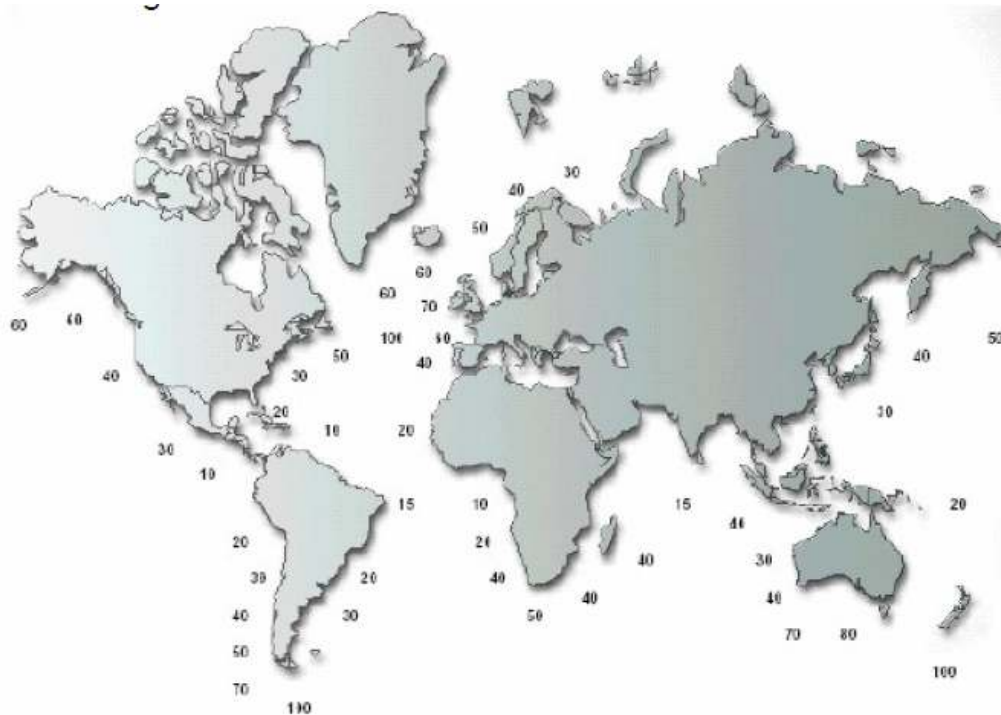
En la práctica las olas no se comportan como ondas senoidales puras, sino más bien son una superposición de varias de ellas, cuya superficie puede ser reconstruida como suma de ondas de amplitud variable, llamada análisis espectral.

El comportamiento de las olas depende en gran medida de la relación que existe entre el tamaño o altura de las olas y la profundidad del agua donde ésta se está moviendo. El movimiento de las moléculas de agua cambia de forma circular a elipsoidal cuando una ola llega a la costa y la profundidad del agua disminuye el movimiento es más horizontal.

Finalmente el tamaño de las olas generadas por el viento depende de la velocidad del viento; el tiempo durante el cual éste está soplando, y la distancia o alcance sobre la cual la energía del viento se transfiere al océano para formar las olas, adicionalmente son las olas que contienen más energía y pueden emplearse para generar electricidad.

Para evaluar el potencial energético de las olas se emplea el parámetro de referencia es la potencia media transportada por la ola (KW/m), que está en función de la altura, periodo y amplitud de la ola. Este valor permitirá diseñar o seleccionar el equipo de conversión de energía a utilizarse en función de la técnica de aprovechamiento que puede ser por *Empuje de la ola* o *Variación de la altura de la superficie de la ola*

Figura 7.6: Distribución Mundial del Potencial Energético a partir de las Olas (KW/m)



Los sistemas para aprovechar la energía de olas se pueden clasificar en:

- **Por su posición relativa a la costa:** sistemas costeros o de altamar.
- **Por su posición relativa a la dirección del oleaje,** Existen varios tipos, los principales son:
 - Totalizadores o terminadores: sistemas largos con eje paralelo al frente del oleaje.
 - Atenuadores: sistemas largos con eje perpendicular al frente del oleaje.
 - Absorbedores puntuales: sistemas aislados de dimensiones reducidas, que aprovechan la concentración y convergencia del oleaje
- **Por su posición relativa al agua:** En sistemas fijos o flotantes, semisumergidos o sumergidos.

Figura 7.7: Sistema Costero Islay-Escocia, 2001 (OWC)



Figura 7.8: Sistema off-shore flotantes WAVE DRAGON SYSTEM



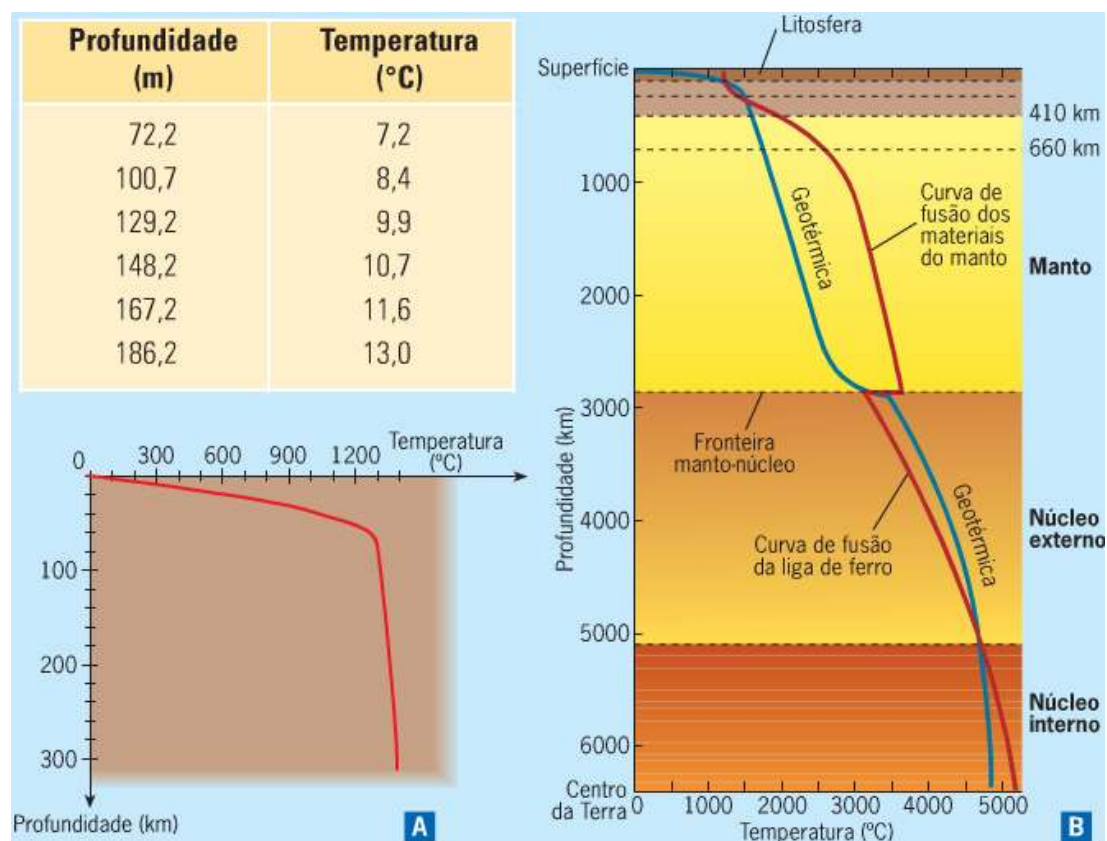
7.2 Geotermia

Energía Geotérmica

La energía geotérmica es la energía que se puede obtener de aquellos materiales o sustancias de la corteza que tienen una temperatura superior a la temperatura ambiente. Esos materiales o sustancias pueden ser rocas calientes, gases y vapores de fumarolas, aguas termales, lodos calientes o lava.

La geotérmica es una energía limpia y renovable, así como la energía solar, la geotermia es muy aprovechada en la actualidad para climatización de hogares (geotermia de baja temperatura). La potencia que crea el flujo de energía calorífica de la tierra comprende una enorme cantidad de energía que apenas aprovechamos una mínima potencia. Se estima que este recurso energético supone unos 30 millones de Teravatios , entregando su energía las 24 horas del día y los 365 días del año.

Figura 7.9: Temperatura en el interior de la Tierra



Fuente: <http://www.proprofs.com/quiz-school/story.php?title=estrutura-interna-da-terra>

Se puede aprovechar la energía geotérmica según sea :

- Alta entalpia 150 a 600 °C
- Media entalpia 50 a 150 °C
- Baja entalpia: menor de 50 °C

En el cuadro 7.1 se podrá observar cuales son los potenciales energéticos existentes a nivel mundial que ofrece este tipo de fuente renovable, y que son muy poco aprovechables.

Cuadro 7.1: Recurso geotérmico mundial

Rango de Temperaturas Grados Celsius	Recursos Totales 10^{21} Joules	Potencial Térmico 10^{21} Joules	Potencial eléctrico 10^{21} Joules.
<100	36 000	2 600	0
100 a 150	36 800	270	0
150 a 200	1 100	68	17
> 200	73	3.5	0.9
TOTAL	73973	2 941.5	17.9

Fuente: Erick Gonzales, Introducción a la energía geotérmica

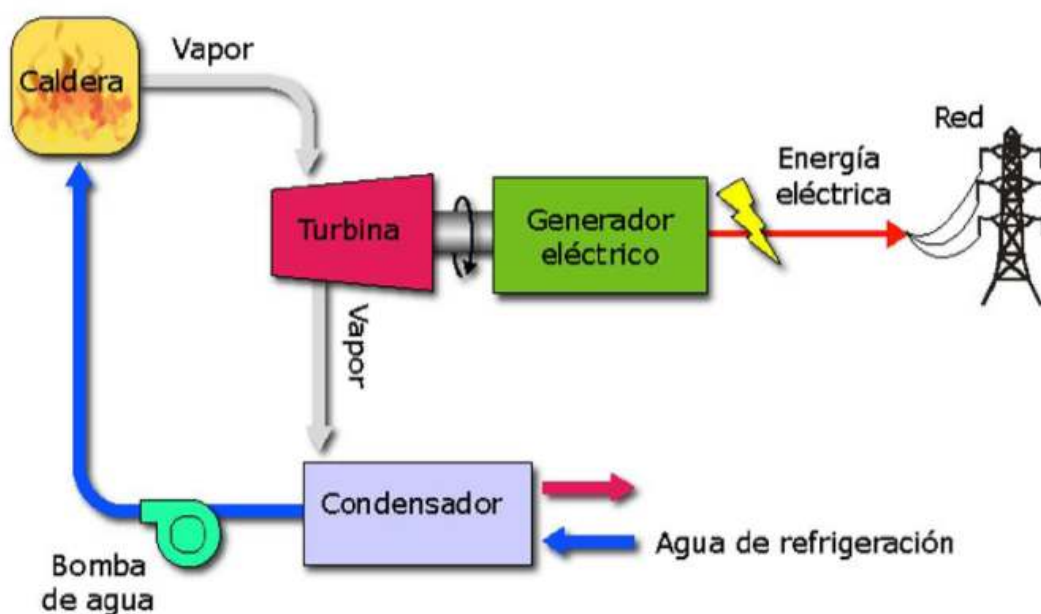
Geotermia a profundidad o de alta entalpía

Esta energía proviene de la energía interna del suelo y subsuelo terrestre, no afectándole directamente las condiciones climáticas.

Los diversos sitios geotérmicos debidos a la energía interna de la Tierra bien sea del tipo volcánico, del tipo estructural o neocorticales da origen a distintos tipos de manifestaciones geotérmicas que se pueden determinar cómo fuentes geotérmicas profundas, mayor a 100 metros.

La explotación del fluido térmico a alta y media entalpía es utilizado por la plantas geotermoelectricas.

Figura 7.10: Geotermia a alta entalpía proveniente de sitios geotérmicos volcánicos. Esquema de una planta de Geotermoelectrica.



Fuente: Erick Gonzales, Introducción a la energía geotérmica

Aplicación de la geotermia de baja y alta temperatura:

- Alta temperatura :
 - Planta geotermoeléctrica
- Media Temperatura
 - Calefacción
 - refrigeración
 - Generación de electricidad
 - Industria alimenticia
 - Cementera
 - Papelera
 - Destilación, entre otras

Geotermia a baja profundidad

Los primeros 100 metros bajo tierra son muy aptos para proveer y almacenar energía térmica. El cambio de la temperatura se reduce entre 10 y 20 metros de profundidad, mientras más profundidad el gradiente geotérmico solo aumenta 3 °C por cada 100 metros.

Para hacer uso la geotermia es necesario instalar un sistema geotérmico que se encuentra está integrado, generalmente, por tres subsistemas principales:

- **Intercambiador de calor subterráneo:** Extrae calor del subsuelo o evacua calor de la edificación.
- **Sistema de distribución:** Encauza el calor o el frío a las diferentes estancias del edificio.
- **Bomba de calor:** Transfiere el calor entre el intercambiador de calor subterráneo y el sistema de distribución del edificio. La bomba extrae el calor del subsuelo a una temperatura baja, el calor transferido a un fluido frigorífico que se vaporiza y es aspirado por un compresor eléctrico que eleva su temperatura.

La bomba de calor está comprendida por:

1. Evaporador
2. Compresor
3. Condensador
4. Válvula de expansión

Véase Video - https://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=s3Qv_SV0Q1A

Las bombas de calor geotérmicas se clasifican según:

- El tipo de fuente o sumidero de calor y el fluido de distribución del local:
El tipo de fuente o sumidero externo puede ser:
 - Agua.
 - Suelo.
 El tipo de fluido caloportador puede ser:
 - Agua
 - Aire
- La distribución del sistema colector del terreno:
 - Sistemas abiertos.
 - Sistemas cerrados: Configuración horizontal y Configuración vertical.

- Los pasos de intercambio de calor:
 - Intercambio agua glicolada-refrigerante.
 - Expansión directa.

- La energía de compresión:
 - Bomba de calor de compresión mecánica:
 - Mediante motor eléctrico.
 - Mediante motor de combustión interna.
 - Bomba de calor de absorción.

1) **Sistemas abiertos** utilizan agua subterránea como portador de calor que lo lleva directamente a la bomba de calor.

2) **Sistemas cerrados**, el intercambiador es ubicado en el subsuelo y un medio portador de calor circula dentro del intercambiador de calor, transportando el calor de la tierra a la bomba y viceversa.

Los sistemas cerrados pueden ser colocados de manera horizontal, vertical u oblicua.

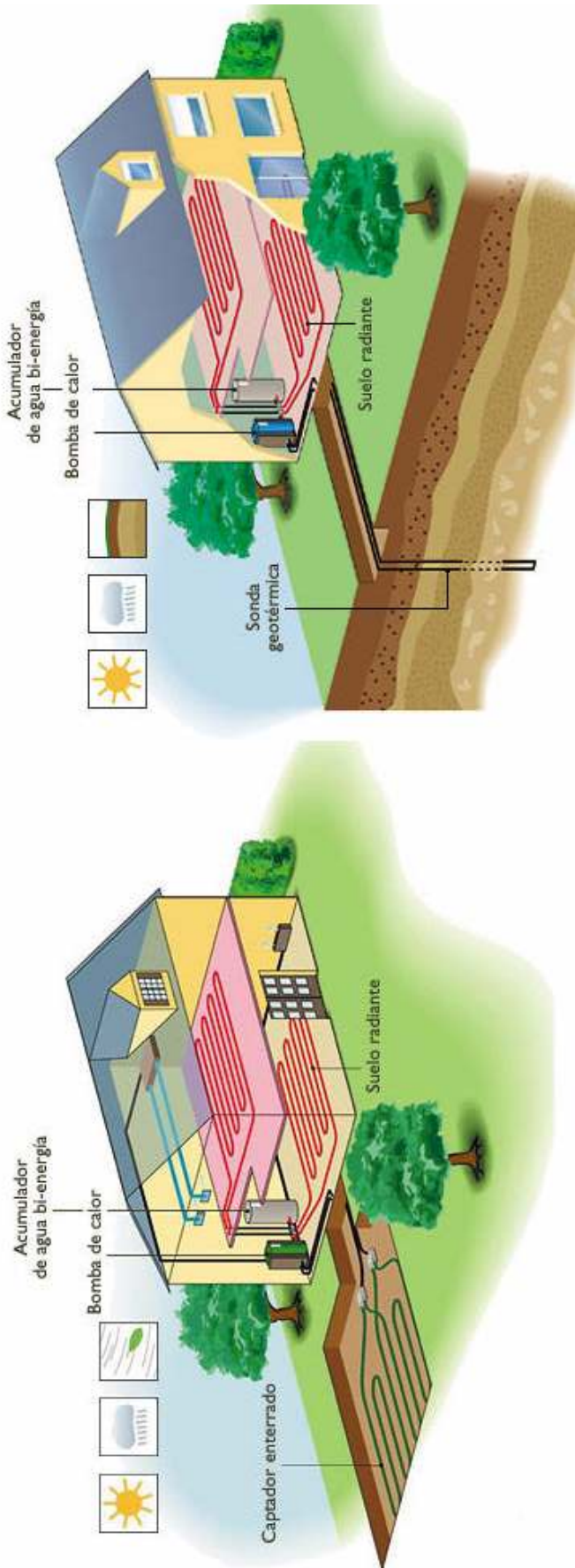
Intercambiador Horizontal

- Son ideales para suelos húmedos.
- Se pueden enterrar a una profundidad entre de 0.5 a 2 m
- Es necesario mantener una distancia mínima de 1 m a conducciones de agua fría o de depuración, así como a los cimientos.
- Después de su enterramiento no puede ser asfaltada
- Es posible seguir cultivando y plantando especies vegetales, excepto árboles
- Su instalación ocupa una superficie mayor con respecto a la captación geotérmica vertical.

Intercambiador Vertical

- Se puede enterrar la sonda de manera vertical entre 50 a 400 metros.
- Su Perforación es del diámetro de 140 mm
- Utiliza Sondas: Tubos U para sonda simple \varnothing : 40 mm y tubos U para sonda doble \varnothing : 32 mm
- Es necesaria tener una distancia mínima entre dos perforaciones de 5 a 6 m
- El pozo es rellenado con betonita o sílice.
- Tubería puede ser de polietileno o polipropileno
- La superficie instalada ocupada menor espacio que la captación geotérmica horizontal.

Figura 7.11: a) Instalación con intercambiador horizontal. b) Instalación con intercambiador vertical



Fuente: Prosenner

Las aplicaciones más usuales que se utiliza la geotermia de baja entalpia se encuentra:

- Invernaderos
- Piscicultura
- Secadero de frutas
- Ganadería
- Avicultura
- Climatización de viviendas.
- Edificios
- Balnearios
- Piscina

Coeficiente de rendimiento (COP) de una bomba de calor

El COP se entiende como la eficiente de una bomba de calor. Se representa mediante la relación de la cantidad de energía térmica (Q) que hay que aportar al sistema (calorífica o de refrigeración) y la potencia eléctrica consumido (W). El COP de una bomba de calor geotérmica es de 4 a 6, muy superior al de las bombas de calor aire-aire estimado entre 2 y 3.

Para el dimensionamiento de una instalación geotérmica es necesario obtener los siguientes parámetros.

- Necesidades térmicas y COP de la bomba de calor., por lo que es necesario conocer la potencia del evaporador , es decir el calor a captar del subsuelo (calefacción) o el calor a aportar (refrigeración)
- Caudal volumétrico de la bomba de calor.
- Capacidad térmica específica del terreno.

La selección de la bomba se realiza a partir del cálculo de carga térmica. Por otro lado, se determina el COP de los modos de calefacción y refrigeración, así como la cantidad de calor absorbido e inyectado en el terreno, aplicaremos las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \text{COP calefacción} &= Q \text{ calefacción} / W \text{ calefacción} \\ \text{COP refrigeración} &= Q \text{ refrigeración} / W \text{ refrigeración} \\ Q \text{ absorbido} &= Q \text{ calefacción} - W \text{ calefacción} \\ Q \text{ inyectado} &= Q \text{ refrigeración} + W \text{ refrigeración.} \end{aligned}$$

Diseño de un intercambiador de calor

Para el diseño de un intercambiador de calor se procede a realizar los siguientes pasos:

- Elección de la bomba
- Elección del fluido
- Configuración del sistema a emplear si será horizontal o vertical (viene determinada por las condiciones geológicas del emplazamiento, el espacio disponible y las características de la edificación)
- Trayectoria del fluido.
- Si es horizontal es necesario determinar: profundidad de la zanja , numero de zanja y separación de la zonda
- Si es vertical es necesario determinar: profundidad de la perforación, numero de pozos, distancia entre perforación.

- Elección del material de la tubería
- Elección del diámetro de la tubería: se debe considerar las caídas de presión y funcionamiento térmico.
- Velocidad del fluido
- Estudio de temperaturas: temperatura media, máxima y mínima del terreno
- Determinar la resistencia térmica del terreno.
- Determinar máxima y mínima de la entra y salida del fluido, así como la diferencia de temperatura entre la tierra y el circuito
- Determinación de la resistencia de la tubería al flujo de calor
- Determinar la demanda energética de la vivienda
- Longitud del intercambiador enterrado
- Elección de la bomba del circuito

Una manera de determinar la potencia de evaporación necesaria y la longitud total de la sonda para un intercambiador en configuración vertical se obtiene a través de las siguientes ecuaciones :

$$P_{\text{evaporación}} = P_{\text{calefacción}} \times (\text{COP} - 1) / \text{COP}$$

La longitud total de sonda se determina a través de :

$$L = P_{\text{evaporación}} (\text{W}) / P_{\text{específica de extracción del terreno}} (\text{W/m})$$

La potencia de extracción específica del terreno se basa en el valor estándar determinado de un lugar (W/m)

El área del colector geotérmica (S , dado en m²) se determina por:

$$S = P_{\text{evaporador}} (\text{W}) / P_{\text{específica de extracción del terreno}} (\text{W/m}^2).$$

7.3 Tecnología de Hidrógeno

El término tecnología de hidrógeno se refiere al uso de hidrógeno para producir o almacenar energía. La producción de energía por medio de hidrógeno se puede dar de dos maneras como energía térmica por medio de combustión o la conversión directa a energía eléctrica por medio de una celda de hidrógeno. Además también se puede utilizar el hidrógeno para almacenar energía eléctrica en forma de energía química por medio de electrolizadores eficientes.

Aplicaciones

El hidrógeno como combustible

La producción de hidrógeno requiere más energía de la que puedes extraer del mismo gas, esto por la limitante de la ley de la conservación de la energía. Existen varias maneras de producción de hidrógeno siendo dos las más utilizadas, electrólisis y reformado a vapor del gas metano.

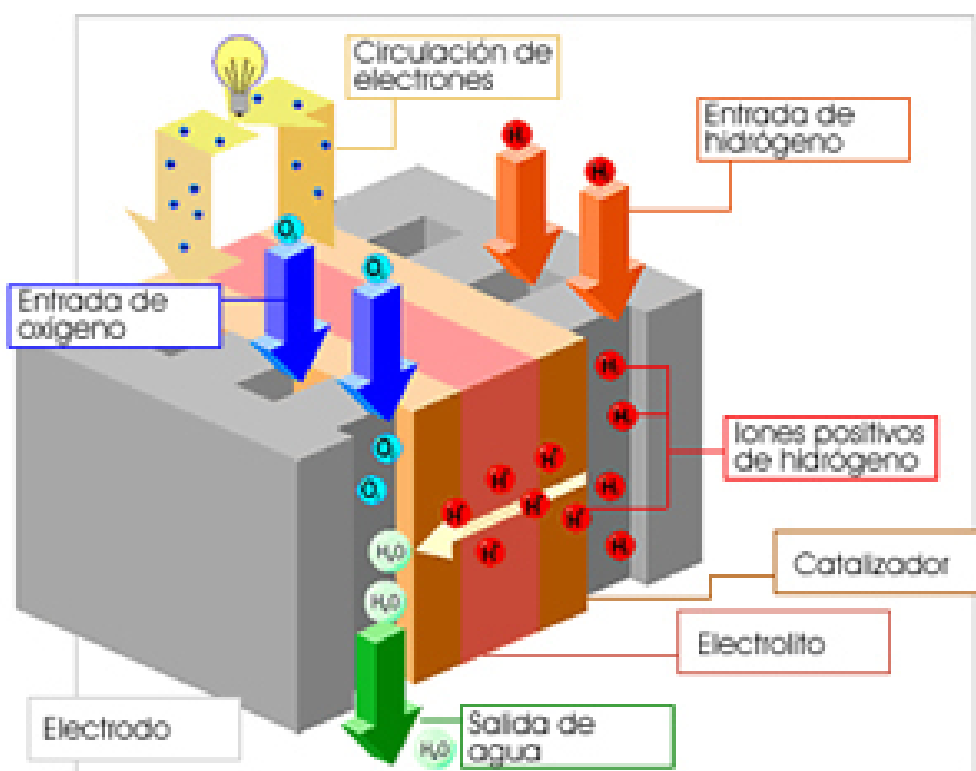
El hidrógeno no se encuentra libre en la naturaleza y por es necesario extraerlo ya sea de un hidrocarburo o del agua. El proceso de extracción de hidrógeno en un hidrocarburo es menos costoso energéticamente hablando, pero uno de los residuos de la separación del hidrógeno es CO₂, lo que hace que sea un proceso perjudicial para el medio ambiente.

Las celdas de combustible

Las celdas de combustible o Fuel Cells por su nombre en inglés son dispositivos electroquímicos que permiten la conversión de energía química a eléctrica en un paso a diferencia de un sistema termoelectrico que requiere de dos pasos.

El dispositivo es muy simple: está formado por dos electrodos separados por un electrolito (un material especialmente tratado que permite el paso de iones -átomos cargados positiva o negativamente- pero no de electrones). En el electrodo negativo (ánodo) tiene lugar la oxidación del combustible (normalmente hidrógeno aunque puede ser metanol u otros) y en el positivo (cátodo), la reducción del oxígeno del aire.

Figura 7.12: Estructura de una celda de hidrógeno



Fuente: <http://www.unizar.es/icma/divulgacion/celdascomb.html>

Las celdas de combustible se pueden dividir en varios tipos dependiendo de su electrolito como se observa en el cuadro 7.2:

Cuadro 7.2: Tipos de Celdas de combustible

	Características de diferentes tipos de Celdas de Combustible				
	PAFC	MCFC	SOFC	PEMFC	AFC
	Pila de ácido fosfórico	Pila de carbonato fundido	Pila de óxido sólido	Pila de membrana de intercambio protónico	Pila alcalina
Electrolito	Ácido Fosfórico	Solución líquida de litio, sodio y carbonatos de potasio	Óxido de zirconio	Polímero orgánico sólido	Solución líquida de hidróxido de potasio
T° de operación (°C)	150-200	600-700	650-1000	50-100	70-120
Combustible	H ₂	H ₂ /CO	H ₂ /CO ₂ /CH ₄	H ₂	H ₂
Reformado	Externo	Externo/interno	Externo/interno	Externo/interno	Externo
Oxidante	O ₂ /aire	CO ₂ /O ₂ /aire	O ₂ /aire	O ₂ /aire	O ₂ /aire
Veneno	CO, NH ₃ , CL ₂ , S ₂	CL ₂ , S ₂	S ₂	CO, NH ₃ , CL ₂ , S ₂	C, CO ₂
Eficiencia eléctrica (HHV%)	32-38	45-47	35-43	53-58 (transporte) 25-35 (estacionaria)	60
Potencia	50KW- 1MW (módulos típicos 250KW)	<1KW- 1MW (módulos típicos 250KW)	5KW-3MW	<1KW-250KW	10KW- 100KW
Aplicaciones	Generación distribuida	Generación distribuida y utilidades eléctricas	Generación distribuida, utilidades eléctricas, respaldo	Pequeña Generación distribuida, transporte, equipos portátiles	Militar, espacial
Ventajas	-Alta eficiencia con cogeneración -Alta tolerancia a las impurezas	-Alta eficiencia -Flexibilidad de combustibles -Puede usar muchos catalizadores -Utilizable en cogeneración	-Alta eficiencia- Flexibilidad de combustibles -Puede usar muchos catalizadores -Utilizable en cogeneración -Simple manejo de electrolito	-Rápida toma de carga -baja T° -El electrolito sólido reduce la corrosión	-Rápida reacción del cátodo en electrolito alcalino
Desventajas	-Requiere platino como catalizador -Baja corriente y potencia -Gran tamaño y peso	-Alta corrosión y deterioro de componentes por T° -Complejo control del electrolito -Lenta toma de carga	-Alta corrosión y deterioro de componentes por T°. -Lenta toma de carga -Fragilización del electrolito	-Catalizadores caros -Alta sensibilidad a impurezas -No utilizable en cogeneración	-Electrolito altamente sensible al CO ₂

Fuente: http://web.ing.puc.cl/~power/alumno10/celdas/1_tipos.html

7.4 Cogeneración

Las plantas industriales usan energía en forma de calor y trabajo. Cuando ambas formas se generan de manera concurrente en una facilidad industrial se denomina COGENERACION.

Dos parámetros básicos deben considerarse:

- CALOR DE PROCESO, es decir la demanda de energía térmica (calor directo, vapor, etc.) de la planta .
- DEMANDA DE POTENCIA DE PLANTA; esta cubre la demanda de potencia eléctrica y / o mecánica para los procesos de la planta, iluminación, climatización, etc.

El cociente entre ambas se denomina RELACIÓN CALOR / POTENCIA.

LOS CICLOS TÉRMICOS que generan potencia antes de la generación de Calor de proceso para la planta se denomina CICLOS TOPPING. Un ejemplo es la recuperación de calor de gases de escape de un motor diesel para producir vapor o agua caliente. Por otro lado, cuando se genera potencia (mecánica / eléctrica) a partir de energía térmica (calor) que se disiparía normalmente al ambiente se denomina CICLO BOTTOMING

CICLO COMBINADO, Un ejemplo: se utiliza un ciclo topping, por ejemplo turbina a gas, para generar potencia y el calor sensible de escape para generar vapor. El vapor se utiliza subsecuentemente para generar más potencia expandiéndolo en una turbina a vapor, mientras se extrae vapor de la turbina como vapor de procesos. Nótese por un lado que una planta de fuerza (potencia) típica (turbina a vapor, turbina a gas, motor diesel, etc) operando en ciclo

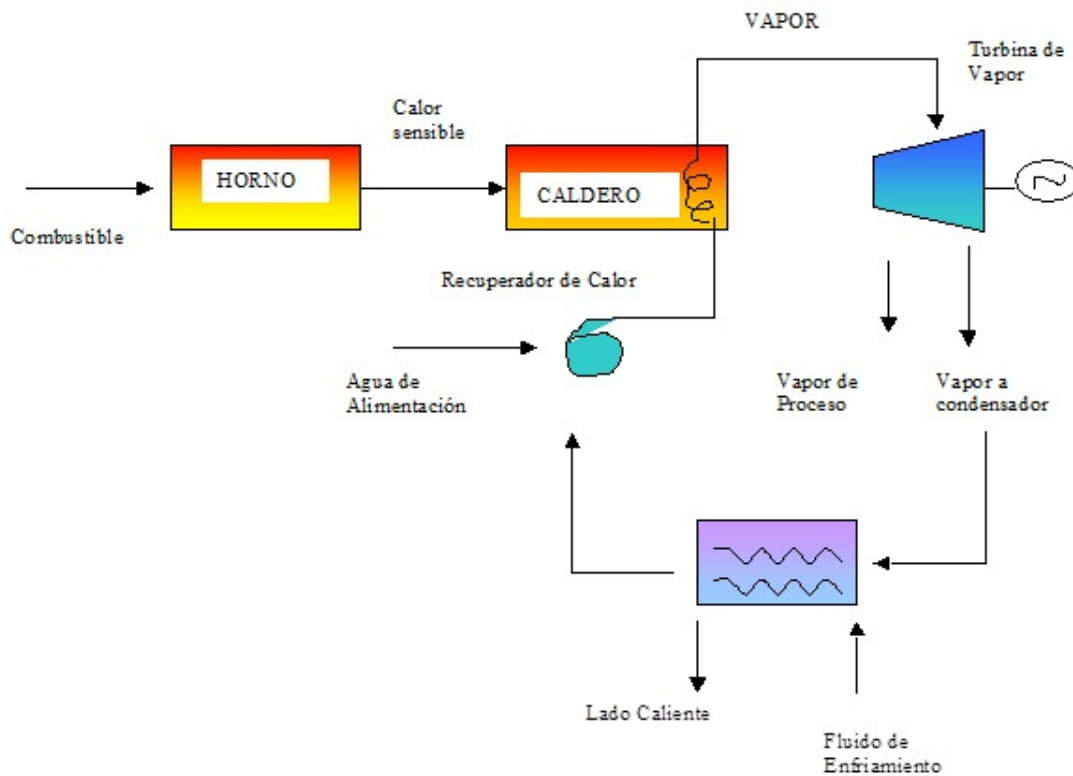
termodinámico Simple tiene una eficiencia de conversión no superior alrededor de 40 % (30 % para motores diesel, 20 % para motores de gasolina pequeños).

Un caso típico es el potencial de aprovechamiento de gases de escape de turbina a gas. Si bien modernamente éstas ya vienen provistos de sistemas de recuperación de calor, en algunos casos en que los gases salen entre 450 °C y 900 °C existe potencial de recuperación de calor (Heat Recovery Steam Generators- HR HG) Véase la referencia indicada para mayores detalles.

Análisis operacionales y de balance térmico y de flujo deben considerarse, la temperatura del lado fuente de calor no sea inferior a los de sumidero de calor, pues de otra manera no se logrará la operación esperada. El punto en que la temperatura del lado caliente tiene una mínima diferencia con el lado de fluido a ser calentado se denomina PINCHPOINT y tiene implicaciones en el diseño de sistemas de recuperación de calor y cogeneración.

Se puede generar potencia y que además parte del vapor extraído de la turbina puede ser utilizado en procesos. Así mismo , el calor de baja entalpía existente en el lado caliente del fluido de enfriamiento puede también usarse provechosamente.

Figura 7.13: Ciclo combinado



8 — ANÁLISIS DE PERSPECTIVAS DE DESARROLLO DE FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA EN ECUADOR

Objetivo del capítulo VIII

- Conocer los aspectos básicos del comportamiento energético nacional y su cambios dentro de la matriz energética
- Comprender la relación de la oferta y demanda dentro del contexto energético nacional

Introducción

El desarrollo de las Fuentes Renovables de Energía en Ecuador esta sujeto a varios factores que lo influyen. Los principales factores hacen relación con el tipo de Tecnología, con el Marco Regulatorio existente, con aspectos institucionales, factores socio-económicos, y otros. El presente trabajo se limita a las fuentes de tipo solar, eólico, hidráulico pequeña escala (menor que 10 MW), geotermia, biomasa. Se incluye además hidrogeno, si bien este no es en si mismo fuente de energía. Por otro lado, y siguiendo la costumbre ya aceptada, se incluye el tratamiento de co- generación

Marco Regulatorio

Este está contenido en la Regulación del año 2013. En ella se fijan los valores de kilovatio-hora. Los limites son de hasta el 5% de la generación total, y cada unidad no podrá superar de 50 MW. Los valores fijados para generación fotovoltaica son de USD 11.80por kwh, mientras que para biomasa es de USD 2.38/kwh. Para el caso de energía eólica el valor es de USD 2.39/ kwh

Los precios a reconocerse por la energía medida en el punto de entrega, expresados en centavos de dólar de los Estados Unidos por kWh, son aquellos indicados en el cuadro 8.1. No se reconocerá pago por disponibilidad a la producción de las centrales no convencionales.

Cuadro 8.1: Valor Unitario para el Estado del Buen Vivir Territorial (cUSD/kWh-recaudado)

Centrales	Territorio Continental	Territorio Insular de Galápagos
Biomasa	2,38	2,62
Biogás	1,65	1,82

Referencia: http://www.conelec.gob.ec/normativa/Codificaci%C3%B3n%20Regulacion%20001_13%20Energias%20Renovables.docx

Además, para las centrales hidroeléctricas de hasta 50 MW se reconocerán los precios indicados en los Cuadros 8.2 y 8.3, expresados en centavos de dólar de los Estados Unidos por kWh. No se reconocerá pago por disponibilidad a este tipo de centrales que se acojan a la presente Regulación.

Cuadro 8.2: Valor Unitario para el Estado del Buen Vivir Territorial (cUSD/kWh-recaudado)

Centrales	Territorio Continental	Territorio Insular de Galápagos
Eólicas	2,39	2,62
Fotovoltaicas	11,80	12,99
Solar Termoeléctrica	8,74	9,61
Corrientes Marinas	12,77	14,05
Biomasa y Biogás <5 MW	2,86	3,5
Biomasa y Biogás >5 MW	2,50	2,75
Geotérmicas	3,36	3,69

Cuadro 8.3: Valor Unitario para el Estado del Buen Vivir Territorial (cUSD/kWh-recaudado)

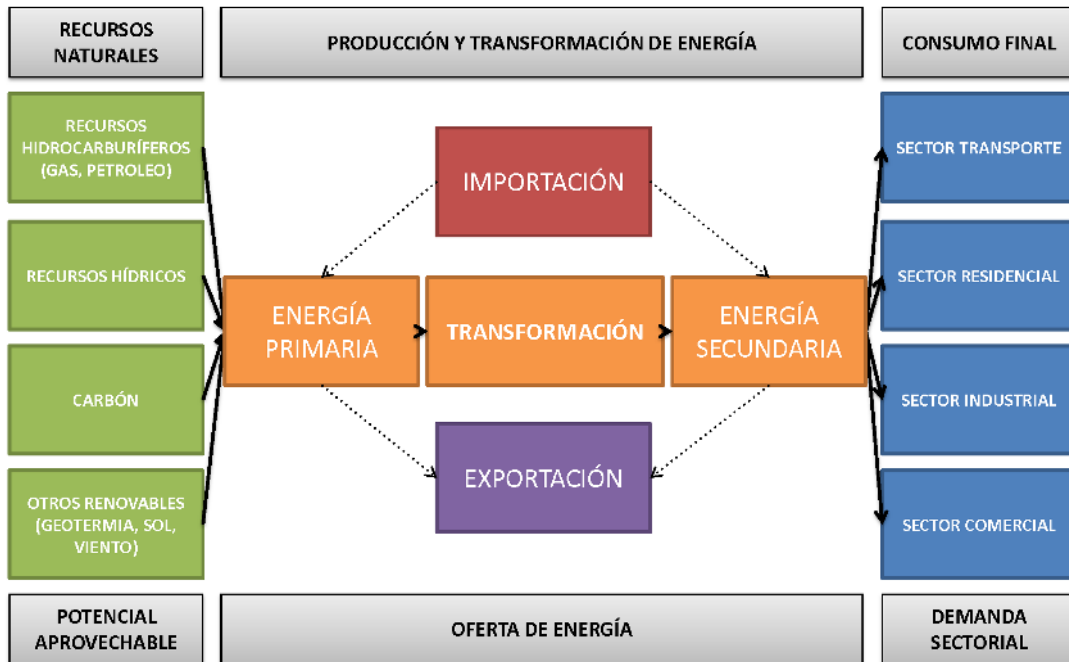
Centrales	Territorio Continental
Centrales Hidroeléctricas menores 10MW	2,07
Centrales Hidroeléctricas mayores a 10MW hasta 30MW	1,98
Centrales Hidroeléctricas mayores a 30MW hasta 50MW	1,78

Referencia: http://www.conelec.gob.ec/normativa/Codificaci%C3%B3n%20Regulacion%20001_13%20Energias%20Renovables.docx

8.1 ESTUDIO DE LA MATRIZ ENERGÉTICA DEL ECUADOR

La situación de la matriz energética en nuestro país no es la más adecuada, debido a nuestra alta dependencia de combustibles fósiles para locomoción, generación eléctrica, calefacción y otros fines; el contrabando de combustibles debido a los subsidios que los hacen atractivos a los pobladores de las regiones fronterizas de los países vecinos, la importación de gran parte derivados de petróleo y la casi nula exportación de los mismos, sino solamente de materia prima (crudo). En la figura 8.1 se presenta información basada en últimos estudios y presentaciones realizadas por el Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos

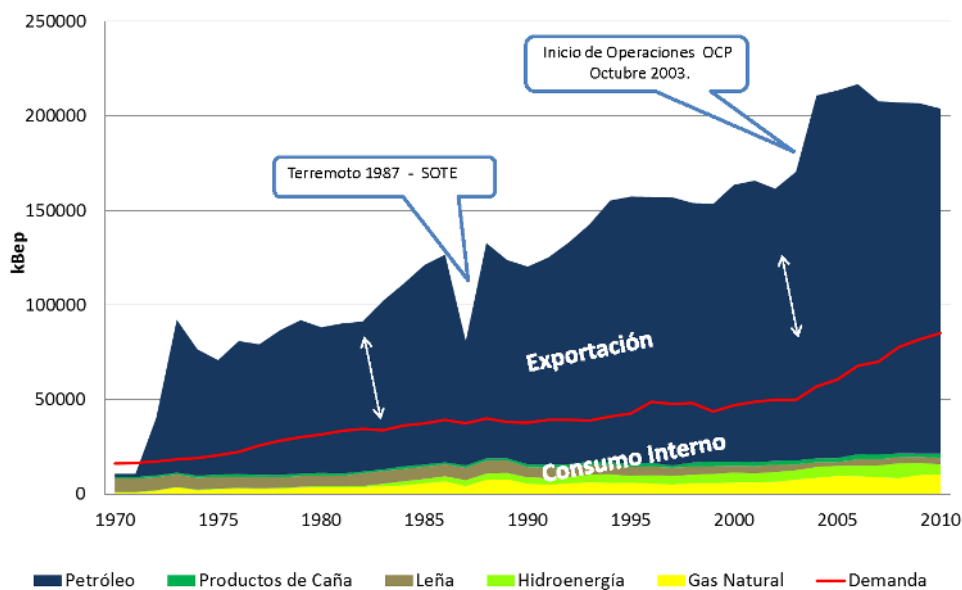
Figura 8.1: Elementos del Balance Energético



En la actualidad para lograr un balance apropiado se ha iniciado la construcción de centrales de energía hidroeléctrica y renovable, además del desarrollo de una política de eficiencia energética y la introducción de métodos alternativos de locomoción.

Figura 8.2: Evolución de la oferta de Energía

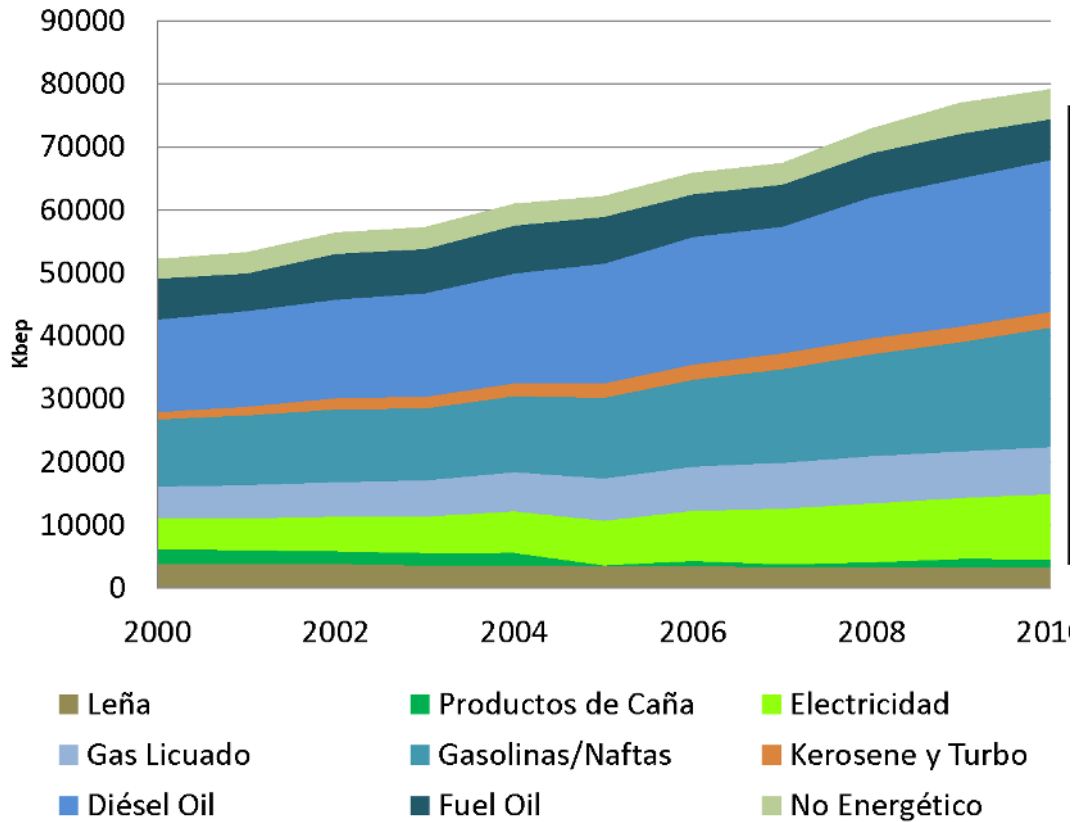
EVOLUCIÓN DE LA OFERTA DE ENERGÍA POR FUENTES



Fuente: Estudio de acompañamiento para el cambio de matriz energética, MICSE 2012



Figura 8.3: Evolución de la Demanda de Energía

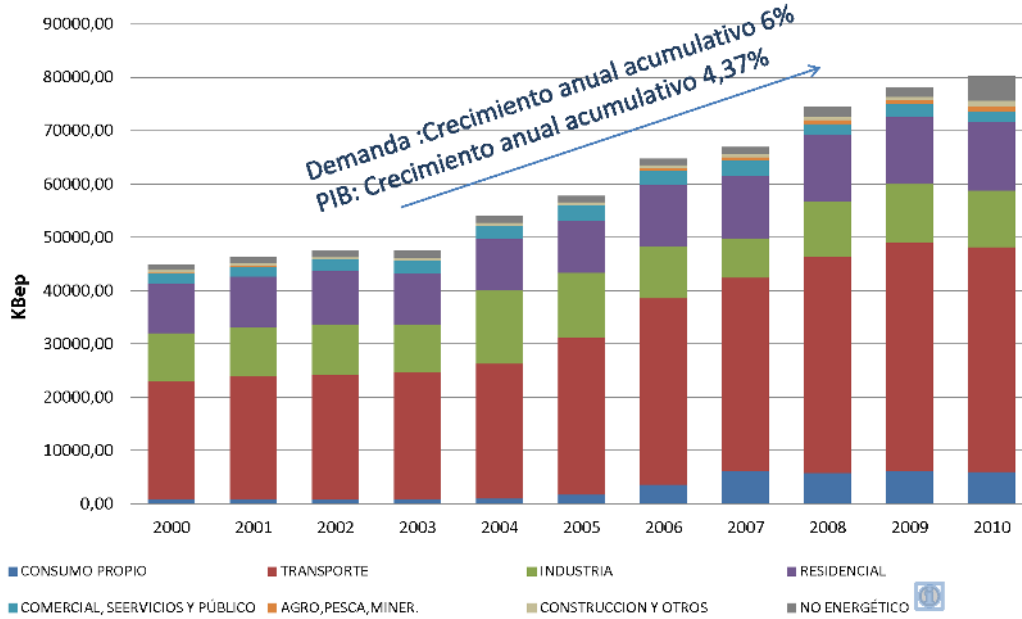


Fuente: Estudio de acompañamiento para el cambio de matriz energética, MICSE 2012

La Figura 8.2 y 8.3 muestra el comportamiento, de la oferta y demanda de energías primarias producidas anualmente en el país. Se pronostica un crecimiento de la importación de energía y un decaimiento de las exportaciones debido al agotamiento de reservas de combustibles fósiles y la demanda interna creciente.

Como se puede apreciar en la Figura 8.4 el transporte es el rubro que mayor cantidad de energía consume dentro del país, por lo que para cambiar la matriz energética en su rubro más representativo, se debería impulsar la introducción de sistemas de locomoción que utilicen energía renovable (autos y buses híbridos, trenes y tranvías urbanos) y una planificación más adecuada del gasto energético (optimización de rutas, normativas de eficiencia en motores y consumo por unidad de distancia, etc.). El sector residencial lo sigue en consumo de energía, especialmente eléctrica, la cual es suplida en horas pico mediante centrales térmicas de alto costo, altas emisiones contaminantes y baja eficiencia total.

Figura 8.4: Demanda de Energía por Sectores

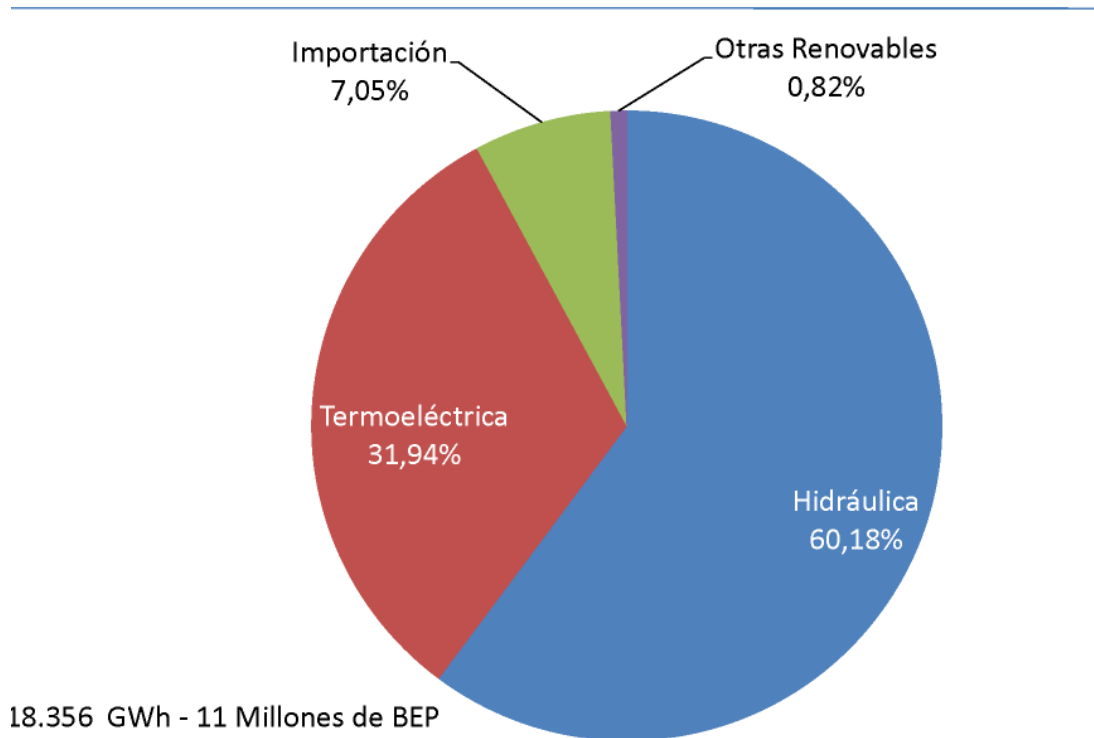


Fuente: Estudio de acompañamiento para el cambio de matriz energética, MICSE 2012/ BCE 2010

POR FUENTE

PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD

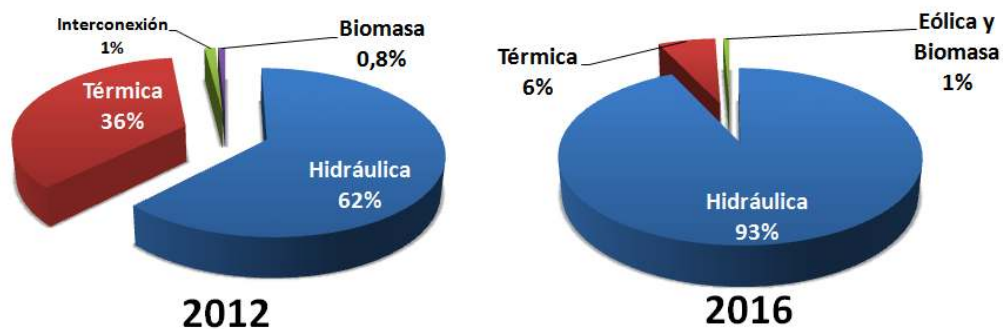
Figura 8.5: Producción de electricidad 2011



El consumo nacional de energía eléctrica los últimos años ha ido dejando la dependencia de la generación térmica y de la importación de energía, hasta el 2011 se logró reducir en un 10% la necesidad de energía proveniente de estas fuentes en comparación del 2007. Aunque con un atraso considerable por la falta de decisión de gobiernos anteriores la mayoría de proyectos previstos para suplir la demanda de energía como Coca-Codo Sinclair, Mazar, Sopladora, entre otros; actualmente se encuentran en marcha o en los próximos años formarán parte del parque de generación nacional, permitiendo la reducción del sistema de generación termoeléctrico que se encuentra en muchos casos al límite de su vida útil, además de la reducción de importación de combustible para generación eléctrica.

El objetivo primordial del Cambio de la Matriz energética es la transformación de la actual matriz energética del Ecuador a un modelo donde la hidroelectricidad llegue a representar más del 80% del total de energía disponible a nivel nacional, eliminando gradualmente el uso de combustibles fósiles.

Figura 8.6: Perspectivas a Corto Plazo



Como se aprecia en la figura 8.6 en los próximos 4 años se espera lograr un aumento en el 30% de la generación por hidroelectricidad a que estaría complementado por un 1% de proyectos emblemáticos de energía renovable principalmente eólica y biomasa.

Entre los principales planes de trabajo y líneas de acción dentro del cambio de la Matriz energética, tenemos:

- La industrialización del petróleo: Corregir desbalances comerciales y fiscales, fomentar condiciones para la transformación productiva (petroquímica). e incrementar las reservas petroleras: Plan Maestro de Hidrocarburos.
- Explotar estratégicamente los recursos naturales renovables y no renovables.
- Producir derivados para satisfacer la demanda interna a partir de la puesta en operación de la Refinería del Pacífico
- Transformación eléctrica: Impulsar el uso de fuentes alternativas de energía siguiendo el Plan Maestro de Electrificación y continuar con el Plan de Reducción de Pérdidas.
- Generar adecuado suministro energético para la transformación productiva.
- Fomentar el desarrollo de la Investigación de manera articulada entre la academia y los sectores industriales y productivos
- Finalmente la reducción de la demanda local con **MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA**, se plantea desarrollar programas en:

- Sustitución de GLP por electricidad.
- Penetración de Biocombustibles (Etanol y Biodiesel).
- Eficiencia en el sector industrial.
- Introducción de autos híbridos y eléctricos.
- Eficiencia en el transporte de carga (tren eléctrico).
- Renovación del parque automotor.
- Mejora en la calidad de combustibles (RDP).

El gobierno del Ecuador está fomentando mayoritariamente grandes proyectos energéticos en particular, proyectos hidroeléctricos mayores a 300Mw, proyectos menores en particular fotovoltaicos no están recibiendo apoyo a la presente y se está dando apoyo entendiblemente a proyectos de generación eléctrica en base al uso de biomasa.

Debe mencionarse, que el gobierno ha declarado que se implementará de manera obligatorio el uso de gasolina mezclada con etanol E10 (10 % etanol) así como de biodiesel tipo B10 (10 % de Biodiesel y diesel fósil 90 %). El avance de estos programas dependerá del rápido aumento de la capacidad productiva del país en etanol anhidro y bodiesel a partir de aceite vegetal.

Se hace notar que para reemplazar toda la gasolina actual vehicular con mezcla gasolina-etanol E10 se requerirá una capacidad de aproximadamente 800 litros/día de etanol; en comparación con la capacidad actual instalada en el país que está en el orden de 170000 litros/día. En biodiesel de aceite vegetal existe una situación de déficit un tanto similar entre la capacidad existente y lo requerido para satisfacción de las metas planteadas por el gobierno. El plazo en que se espera cumplir esas metas se encuentran en el rango de 2-3 años.

Debe mencionarse por otro lado el plan de gobierno de reemplazo de la cocina a gas por cocinas de inducción; en informes recientes de prensa se menciona que se empezará la fabricación de estas cocinas a partir de la segunda mitad del 2014 y que se completará el proyecto en el año 2016 con la entrega de 3'000000 de cocinas.

En todo caso las primeras estimaciones de potencia y energía indican de que podría llegarse a una demanda instantánea de 3000 Mw hasta 5000 Mw, en el caso de que coincidiese un uso mayoritario simultáneo de estas cocinas en algún momento del día; la capacidad actual total de generación eléctrica está en el orden de 4300 Mw. Por otro lado la demanda anual de energía eléctrica por el uso de todas las 3'000000 de cocinas implica el uso de 2KWh/día con consumo anual de 2000 GWh. En comparación el uso total de energía eléctrica es alrededor de 18000 GWh/año. Claramente el punto crítico está en la potencia (demanda instantánea)

Bibliografía

- [1] “Apuntes: Proyecto de Sistemas Solares Térmicos de Baja Temperatura”. J.J. de Felipe. E.U.P.M., U.P.C., 1997
- [2] Abella, M. A. *Sistema Fotovoltaico*. Madrid: CIEMAT.
- [3] Alexander Gómez , Wolfgang klose , Sonia Rincón (2008). Pirolisis de biomasa cuesco de palma / kassel University Press GmbH, Kassel.
- [4] Alonso, M. *Energía Solar fotovoltaica* (Sexta ed.). (Ciemat, Ed.) España: CEDDET.
- [5] Álvarez, C. (Septiembre de 2006). *Manuales de Energía Renovable: Energía Eólica*. Madrid: IDAE.
- [6] Amada, J. M. (s.f.). *CURSO DE ENERGÍA EÓLICA*. España : Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Zaragoza.
- [7] Ambiente, San José, Costa Rica.
- [8] Análisis de Sostenibilidad de Esquemas de Electrificación Rural con Energías Renovables: Opciones e Indicadores. Barriga A; et al . CLER 1999
- [9] And Steven Hegedus Institute of Energy Conversion, University of Delaware, USA, Wiley Editorial, 2003
- [10] Antonio Madrid Vicente (2012) **La biomasa y sus aplicaciones energéticas/España**
- [11] Asociación forestal de Galicia (2007) *Publicación final Enersilva - promoción del uso de la biomasa forestal en el suroeste de Europa*.
- [12] Barriga Rivera Alfredo, *Curso de Fuentes Alternas de Energía, OLADE- ESPOL, Primer versión 2013,Ecuador*
- [13] *Best Practice for Photovoltaic Household Electrification Programs*, World Bank
- [14] *Bioenergy for development; Technical and Environmental Dimensions*, Woods J, Hall D, FAO Environment and Energy paper 13, 1994.
- [15] *Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems*, Editor Dr. David Pimentel Cornell University, 2008 Springer Science
- [16] *Biomass Energy Utilization. Seminar Notes*. Hartmann, H. ESPOL / Monitoring
- [17] *Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals*, Donald L. Klass, 1998, editorial, Elsevier

- [18] Biomass Users Network: Oficina Regional para Centro América, San José, Costa Rica.
- [19] Blum, Conrad, Lecture Notes Biomass, PPRE, 2001
- [20] BP Statistical Review of World Energy 2002
- [21] Bucheli Ponce, Fernando, Fundamentos de Química 1, 3ª. Ed. Quito, 2001.
- [22] BUN-CA (1994). "Commercially successful biomass energy projects in developing countries". Biomass Users
- [23] BUN-CA (1995). Aspectos relacionados con la generación eléctrica a partir de residuos biomásicos.
- [24] BUN-CA (1995). Tecnologías para la conversión de energía biomásica. Seminario "Proyectos de generación
- [25] BUN-CA (1997). "An overview of sugar cane co-generation in six Central American countries". Biomass Users
- [26] California Distributed Energy Resources Guide, 2002
- [27] Carmona, et. al. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental productivo. *Rev. Col.Cienc. Pec.* 18:1
- [28] Chacón, J. A. (2007). *Diseño y Construcción de plantas de Biogás Sencillas*. Haba, Haba, Cuba: CubaSolar.
- [29] Chaux, et. al. (2009). Producción más limpia y vialidad de tratamiento biológico para efluentes de mataderos en pequeñas localidades: municipio del tambo Colombia. *Facultad de Ciencias agropecuarias* , pag. 102-4.
- [30] Ciemat. (s.f.). Energía Solar Térmica. (Sexta). España: CEDDET.
- [31] CNE (1986). "Inventario y evaluación de los biodigestores en Costa Rica". Comisión Nacional de Energía,
- [32] COFEPRIS. (2006). *Evaluación de riesgos de los rastros y mataderos municipales*. México: COFEPRIS.
- [33] COITF (2011) «Principales obstáculos y retos para el desarrollo comercial de la biomasa forestal». Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Forestales. Sevilla.
- [34] Compendio de estudios de caso de proyectos demostrativos de energía renovable a pequeña escala en América Central /Biomass Users Network (BUN-CA). -1 ed. - San José, C.R. : Biomass Users Network, 2002.
- [35] Comunidad de Madrid, Dirección General de Industria, Energía y Minas. (2002). Biomasa, El recorrido de la energía. *Union Fenosa* , pag. 3-10.
- [36] CONELEC, Plan Nacional de Electrificación 2002-2011. Quito, Febrero 2002.
- [37] CONELEC, Regulación No. 003/02, 23 de Marzo de 2002

- [38] Coto, J. M. (2007). Implementación de un sistema para generar electricidad a partir de biogás en la finca pecuaria integradora de EARTH. *Tierra Tropical, Sostenibilidad, ambiente y Sociedad (Revista de la Universidad de EARTH)* , pag. 129 - 138.
- [39] Creus, A. (2009). *Energías Renovables* (Segunda ed.). España: CEYSA. CANO PINA .de la Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, Cuba.
- [40] Datos Nacionales, INEC-MAG-SICA, 2002
- [41] Díez, P. F. (s.f.). ENERGÍA EÓLICA. DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ENERGÉTICA UNIVERSIDAD DE CANTABRIA.
- [42] Dirección general de industria, Energía y minas de la comunidad de Madrid. Proyectos Emblemáticos en el ámbito de las energías renovables. Segunda Edición. España 2012.
- [43] Domínguez, J. (2000). «Análisis de la producción potencial de energía con Biomasa en la región de Andalucía (España) utilizando Sistemas de Información Geográfica».
- [44] Domínguez, J. (2002). «Los Sistemas de Información Geográfica en la Planificación e Integración de Energías Renovables»[Libro]. - Madrid : CIEMAT, 2002. - Vol. I.
- [45] SE (1986). “Potencial bioenergético de Costa Rica”. Dirección Sectorial de Energía, Ministerio de Energía y Dutra, R. (s.f.). *Energía Eolica, PRINCÍPIOS E TECNOLOGIAS*. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito.
- [46] EDEVI, O. E. (2004). CURSO: USOS DE LA ENERGÍA EÓLICA PARA GENERAR ENERGÍA EN BAJAS POTENCIAS. Lima.
- [47] Edited by Antonio Luque Instituto de Energía Solar, Universidad Politécnica de Madrid, Spain
- [48] Eduardo Tolosama Esteban (2009) Manual Técnico para el Aprovechamiento y Elaboración de Biomasa Forestal/ Madrid.
- [49] EEA (2006). «How much bioenergy can Europe produce without harming the environment?»European Environment Agency. Copenhagen.
- [50] Eléctrica a partir de recursos biomásicos”, Honduras, diciembre. 1995. Biomass Users Network: Oficina
- [51] Eléctrica, Guía del electricista. (2012). Biomasa, Tiempo de generar energía limpia. *Eléctrica, Guía del electricista* , pag. 20-23.
- [52] Electrical Generation from Small Hydropower. Sanchez, B. Project, MS Degree in energy and Environment, U of Calgary- OLADE, 2000
- [53] Emérita Delgado, Á. L. (2012). Modelamiento y Análisis de secaderos con aplicaciones a fuentes de energía alternativa utilizando programa de simulación. *III CAIM , Tercer Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica* , 12.
- [54] Emérita Delgado, J. P. (2013). Utilización de energía solar e Intercambiador enterrado como fuente de calor para cámara de secado. *INER-ISEREE*
- [55] Energy and Sustainable Development in Latin America and the Caribbean: Guide for Energy Policymaking, OLADE- ECLAC- GTZ 2000

- [56] Energy for Sustainable Rural Development Project, Case Studies FAO 1991
- [57] Energy Management Handbook, Turner W.C., John Wiley, 1994.
- [58] Energy from Biomass: A Review of Combustion and Gasification, Peter Quaak, Harrie Knoef, Hubert E. Stassen, 1999 ,THE WORLD BANK
- [59] Española, D. d. (25 de Septiembre de 2012). *rae.es*. Obtenido de <http://rae.es>.
- [60] Esteban, L.S., García, R., Cabezón, R., Carrasco, J.E. (2008). «Plan de Aprovechamiento Energético de la Biomasa en las comarcas de El Bierzo y Laciana (León)». Centro de Desarrollo de Energías Renovables (CEDER) perteneciente al Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).
- [61] Esteban, L.S., García, R., Carrasco, J. (2008). «Biomass Resources and Costs in Spain and Southern EU Countries. Towards a Common Methodology and Assessment», en Schmid, J., Grimm, H.P., Helm, P. y Grassi, A. (Ed.): Proceedings of the 16th European Biomass Conference and Exhibition. Florence, ETA-Renewable Energies.
- [62] FAO (1997). “Reunión regional sobre biomasa para la producción de energía y a alimentos”. Organización
- [63] AO. (1986). Reciclaje de materias orgánicas y biogás. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación* , pag. 392.
- [64] FAO. (1995). Biodigestor de plástico de flujo continuo, generador de gas y bioabono a partir de aguas servidas. *CIPAV-Fundación Centro para Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria* , pag. 17.
- [65] Fernández, P. *Procesos Termosolares en baja, media y alta temperatura*. Universidad de Cantabria , Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética .
- [66] Fernando Sebastián Nogués , Daniel García – Galindo y Adeline Rezeau (2010) *Energía de la Biomasa Volumen I/ España*
- [67] Fundación José Peralta, Ecuador: su realidad. Ed. 2002-2003, Quito, 2002.
- [68] García-Martín, A., García Galindo, D., Pascual, J., De la Riva, J., Pérez-Cabello, F. y Montorio, R. (2011). «Determinación de zonas adecuadas para la extracción de biomasa residual forestal en la provincia de Teruel mediante SIG y teledetección», *GeoFocus (Artículos)*, N°11.
- [69] Geothermal Energy, an alternative in generation of Energy in Ecuador, Pilacuan J.S.
- [70] *Gestión de las Energías Renovables, Perspectivas de Futuro*, 6ª edición, Madrid España, Fundación CEDDET, CIEMAT, 2007
- [71] *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*
- [72] ICE (1981). “Biomasa, fuente de energía”. Instituto Costarricense de Electricidad, San José, Costa Rica.
- [73] IDAE (2005). «Energía de la biomasa». Madrid, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

- [74] IDAE (2007). «Energía de la biomasa». Madrid, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- [75] IDAE. (2005). *Proyecto OPET América Latina y Caribe: Informe Sintético - WP4 Ecuador*. España.
- [76] DEA Instituto para la diversificación y ahorro de la energía, Madrid (2011). Evaluación del potencial de energía de la Biomasa/ Estudio técnico.
- [77] Ignacio Cruz, E. S. (s.f.). *GESTIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES: PERSPECTIVAS DE FUTURO, 6ª EDICIÓN Módulo VI: Energía eólica*. CIEMAT, CEDDET.
- [78] Individual Course Report, Energy Systems II, 1999, Barriga Alfredo
- [79] industry, Jackson, M. Project, MS degree in energy and Environment, U of Calgary / OLADE, 2000
- [80] informes de la Comisión Europea disponibles para el público en general en http://www.europa.eu.int/comm/energy/res/legislation/electricity_en.htm,
- [81] Jarabo Friedrich, F. (1999). «La energía de la biomasa». Madrid, S.A.P.T. Publicaciones Técnicas.
- [82] Javier Mendez . Rafael Cuervo. Energía Solar térmica . ECA instituto de Tecnología y Formación. Editorial FC. España, 2010
- [83] John A. Duffie, William A. Beckman , Sandorf A. Klein; Solar heating design by the fchart method; Editorial Wiley corp.; New York; 1977.
- [84] John Duffie, W. B. (2006). *Solar Engieering of thermal processes* (Tercera ed.). New Jersey , United States of America : Wiley.
- [85] José Antonio Carta González, R. C.-A. (2009). *Centrales de Energía Renovable, Generación eléctrica con energías renovables*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.,.
- [86] José Carta, R. C. (2009). *Centrales de energías renovables. Generación eléctrica con energías renovables* (Primera ed., Vol. 1). Madrid, España: PEARSON.
- [87] José Martínez. Energía Geotérmica: Como generar masivamente Electricidad calor y frío con la energía de la tierra. Unión Española de geotermia . Primera edición España,2013.
- [88] José Méndez, R. I. *Energía Solar Térmica* (Primera ed., Vol. 1). (F. Confemetal, Ed.) Madrid, Madrid, España: FC.
- [89] Juan Hermosillo, D. G. (1995). *Notas sobre curso de Energía Solar* (Primera ed.). (D. d. Ingeniería, Ed.) Tlaquepaque, Jalisco, México : Instituto Tecnológico y de Estudios Superiore de Occidente.
- [90] Juan Peralta, A. L. (2012). Identificación y evaluación del potencial de recursos renovables en el ecuador y su viabilidad de desarrollo local. Buenos Aires, Buenos Aires: CAIM III.
- [91] Juan Peralta, et al,(2013) Análisis estadístico de la información meteorológica para la explotación de energías renovables en el Ecuador, . *INER-ISEREE* .
- [92] Junta Andalucía / Consejería de Agricultura y Pesca (2008). Potencial energético de la Biomasa residual agrícola y ganadera en Andalucía

- [93] Jutglar, L. (2004). *Energía Solar* (Primera ed.). Barcelona, Cataluña, España: CEAC.
- [94] Leach, Gerald and Marcia Gowen (1987). "Household energy handbook, an interim guide and reference
- [95] López, et. al. (2008). Estudio comparativo entre un proceso físico-químico y uno biológico para tratar agua residual de rastro. *Interciencia* , pag. 490-6.
- [96] López-Rodríguez F., Atanet C.P., Blázquez F.C., Celma A.R. (2009). «Spatial assessment of the bioenergy potential of forest residues in the western province of Spain, Caceres».
- [97] Mandujano M., I. (1981). Biogás: Energía y fertilizantes a partir de esechos orgánicos. . *Manual para el promotor de la tecnología. Cuernavaca, Morelos, México: Organización Latinoamericana de energía* .
- [98] Manual de Mini y Micro Centrales Hidráulicas , ITDG- Peril / JUNAC / OLADE / BID.
- [99] Manual". World Bank Technical Paper 67, World Bank, Washington, USA.
- [100] María José Cuesta Santianes, M. P. (julio de 2008). AEROGENERADORES DE POTENCIA INFERIOR A 100 kW. CIEMAT.
- [101] Martínez, J. (2013). *Energía Geotérmica* (Primera ed., Vol. 1). (U. E. Geotermia, Ed.) Madrid, Madrid, España.
- [102] Marty, B. I.-K. (1984). Anaerobic digestion of sewage sludge and organic agricultural wastes. *Microbiology of anaerobic digestion* . , pag. 72 - 85.
- [103] Más, J. (2009). *Energía Solar térmica de baja, media y alta temperatura*. Santiago de Compostela: Universidad Santiago de Compostela.
- [104] McCaskey, A. (1990). Microbiological and chemical pollution potencial of swine waste. In: Memorias del Primer Ciclo Internacional de Conferencias sobre Manejo y Aprovechamiento de Estiércol de Cerdos. *Cinvestav. Guadalajara, Jal., México* , pag. 12-32.
- [105] MEER. (2012). *Atlas Eólico del Ecuador con fines de generación eléctrica*. Quito.
- [106] Methane Generation from Human, Animal and Agricultural Wastes. US National
- [107] Microhidropower, SEI 1992.
- [108] Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, Gobierno del Ecuador, Presentación MATRIZ ENERGÉTICA DEL ECUADOR, <http://www.scpm.gob.ec/wp-content/uploads/2013/05/Presentaci%C3%B3n-Pablo-Carvajal-MICSE-MATRIZ-ENERG%C3%89TICA-Ecuador.pdf>
- [109] Miquel Casa, M. B. (2012). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas* (Primera ed., Vol. 1). Barcelona, Cataluña, España: Marcombo.
- [110] ontero, G., Ruiz-Peinado, R., Muñoz, M. (2005). «Producción de biomasa y fijación de CO2 en los bosques españoles». Monografías INIA, N°13.
- [111] Mundial, S. d. (1996). *Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos*. Ginebra.
- [112] Network: Oficina Regional para Centro América, San José, Costa Rica.

- [113] Ochleňg, R. (2010). *Solar collectors and theory and applications*. Rijeka: SCLYO.Regional para Centro América, San José, Costa Rica.
- [114] Pareja, I. D. (2007). Efecto del grado de carga y la cantidad del combustible piloto en el comportamiento mecánico ambiental de un motor dual diesel-biogás para generación de electricidad. *Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. , pag. 79-93.
- [115] Photovoltaic- Wind Hybrid Systems for Remote Power Supply, Iluacuz, Urrutia M, RIER Workshop, CYTED, Mexico, 1997.
- [116] Pinke, Joachim, Wind Lecture Notes, PPRE, 2002,
- [117] Programme for New Technologies, European Union. 1995
- [118] Ramón, et. al. (2006). Diseño de un biodigestor de canecas en serie para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de cerdo. *Revista Ambiental agua, aire y suelo* , pag. 15-23.
- [119] Renewable Energy for Rural Electrification in Ecuador: Application to remotes areas, Espinoza J., Project, Master, Program in Energy and Environment, OLADE / U of Calgary 1998.
- [120] Renewable Energy Its physics, engineering, use, environmental impacts, economy and planning aspects ,Third Edition, Copyright 2004 by Elsevier Science
- [121] RWEDP (2002). “Wood energy basics”. Regional Wood Energy Development. Programme in Asia, Bangkok,
- [122] S.A., A. B. (2012). Cuaderno de aplicaciones técnicas n.o 12, Plantas Eólicas.
- [123] Salazar, G. (1993). Los digestores: Una alternativa energética en la porcicultura y un medio para evitar la contaminación. Guadalajara, Jalisco. *SARH-INIFAP-CIPAC. Campo Experimental Centro de Jalisco* , 15.
- [124] Santiago J. Sánchez Miño, Energías Renovables, Conceptos y Aplicaciones WWF - Fundación Natura , Quito, Junio 2003
- [125] Science Publishers Ltd 1996.
- [126] Seminario “Proyectos de generación eléctrica a partir de recursos biomásicos”, Honduras, diciembre. 1995.
- [127] Solar energy engineering : processes and systems / Soteris Kalogirou.—1st ed. Copyright 2009, Elsevier
- [128] Sonia Rincón, Alexander Gómez, Wolfgang Klose (2011) Gasificación de Biomasa Residual de Procedimiento Agroindustrial.
- [129] S, B. (2004). Renewable Energy: Its physics, engineering, use, environmental impacts, economy and planning aspects. Elsevier Science.
- [130] Soria, et. al. (2001). Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *TERRA* , pag. 353-362.
- [131] Sorrondequí, M. M. (2012). *Uso del biogás como alternativa para la agricultura sostenible cubana*. Cuba: Cubasolar.

- [132] Taller de Proyectos de Energía Renovable, USAID I OLADE 1996.
- [133] The Optimization of the Use of Bagasse in the Cogeneration Systems of Guyana Sugar
- [134] The World Directory of Renewable Energy Suppliers and Services, James & James
- [135] Tony Burton, N. J. (2011). *Wind Energy Handbook*. WILEY.
- [136] Training Manual on Photovoltaic Systems for Rural Electrification OLADE / PNIJD / JUNAC / EC, 1997.
- [137] URPA. (2002). Producción agropecuaria en el Departamento de Caldas. *Gobernación de Caldas* .
- [138] Valeriano Ruiz, Manuel A. Silva. *ENERGÍAS RENOVABLES, 5º DE INGENIERÍA INDUSTRIAL*. Sevilla: Escuela Superior de Ingenieros Universidad de Sevilla
- [139] Verástegui L., J. (1980). El biogás como alternativa energética para zonas rurales. OLADE (Organización Latinoamericana de Alternativas de Energía). *Boletín Energético del Ecuador n. 14* , pag. 57 - 94.
- [140] Wind and Solar Power Systems, Mukund R. Patel, Ph.D., P.E., 1999 by CRC Press LLC



Edición: Marzo de 2014.

Este texto forma parte de la Iniciativa Latinoamericana de Libros de Texto abiertos (LATIn), proyecto financiado por la Unión Europea en el marco de su [Programa ALFA III EuropeAid](#).



Los textos de este libro se distribuyen bajo una Licencia Reconocimiento-CompartirIgual 3.0 Unported (CC BY-SA 3.0) http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.es_ES

Escuela Superior Politécnica del Litoral
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable