

**SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍAS ALTERNATIVAS:
AVANCE Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN COLOMBIA**

DANIEL SNMELINGER CHACÓN RAMÍREZ

RICARDO ANDRÉS SANABRIA ROMERO

YEISSON LEANDRO SÁNCHEZ GALLO

MARLON FABIÁN ROPERÓ PINEDA

JAIRO LUIS RODRÍGUEZ ACEVEDO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2014

**SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍAS ALTERNATIVAS:
AVANCE Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN COLOMBIA**

DANIEL SNMELINGER CHACÓN RAMÍREZ

RICARDO ANDRÉS SANABRIA ROMERO

YEISSON LEANDRO SÁNCHEZ GALLO

MARLON FABIÁN ROPERÓ PINEDA

JAIRO LUIS RODRÍGUEZ ACEVEDO

**Trabajo de grado para optar el título de
Ingeniero Mecánico**

Director

Ph.D., JORGE LUIS CHACÓN VELASCO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2014

Dedicatoria

A mi madre Doris Ramírez de Chacón por su constante apoyo en mi formación académica e integral, y a mi hermano Robinson Chacón Ramírez por su esfuerzo, esmero y dedicación en el alcance de mis metas profesionales.

A mi familia y mis amigos por la alegría y la confianza que me brindaron para la realización de mis sueños.

A mis compañeros de grado, con los cuales compartí grandes momentos y aprendí mucho de ellos al realizar un excelente trabajo en equipo.

Daniel Smelinger Chacón Ramírez

Dedicatoria

Primero que todo le doy gracias a Dios por acompañarme y guiarme en esta etapa de mi vida la cual no ha sido fácil y sin Él nada de esto podría ser posible.

A mis padres Ricardo Sanabria y María del Rosario Romero quienes me apoyaron durante toda la carrera y me colaboraron en todo lo que estuvo en sus manos para que este sueño fuera posible.

A mis compañeros de proyecto con quienes estudiamos y tuvimos una buena amistad durante el transcurso de la carrera.

Ricardo Andrés Sanabria Romero

Dedicatoria

A Dios y a la vida por sus infinitas bendiciones.

A la Virgen Del Milagro Del Topo Tunja, Boyacá.

A mi madre *Gloria Gallo* y a mi padre *Argemiro Sánchez* por su apoyo y
compañía, en esta etapa de mi vida.

A mis hermanos *Andrea, Ángela y Camilo*, por su apoyo siempre.

A mi *Abuela y Abuelo* (que ya no se encuentra entre nosotros pero a quien le
debo gran parte de lo que soy), así como también quiero agradecer a mis Tías
Alba Gallo y Ana Gallo por su apoyo incondicional

Y por último a todos mis grandes amigos.

Yeisson Leandro Sánchez Gallo

Dedicatoria

A Dios primero por ayudarme a conseguir este logro en mi vida.

A la virgen de Chichinquirá por el milagrito que me regalo.

A mis padres que con todo su esfuerzo y cariño pudieron apoyarme durante toda la carrera con todos los obstáculos que hubo.

A mis amigos que aún están conmigo, con los que pude compartir alegrías y aprender durante todo este tiempo.

A mi combo de gears, de ayudas didácticas, de recochas de micro y plan de bebidas.

Por último a la infalible, la trotada, el masaje y la cosedora.

Marlon Fabián Roperó Pineda

Dedicatoria

A la Virgen de Chiquinquirá, al Papa Juan Pablo II y a DIOS, por su ayuda, sabiduría, bendiciones y por ayudarme a culminar esta etapa tan importante en mi vida.

A mi madre Gladys Marina Acevedo Cáceres, y a mi Padre Jairo Edelberto Rodríguez Rincón, por su gran apoyo y sus consejos, y ser los motores de mi vida.

A mi abuela María Albertina Cáceres, por siempre motivarme a estudiar y a salir adelante.

A mi Tío José Manuel Acevedo, Mi Tía Jane Barga, Mis primas Ana y Jenny, por ayudarme y enseñarme a ver la vida de una manera organizada, sencilla y fácil.

A mi ahijada María Daniela Parada Velandia, que cada día es uno de los motores de mi alma.

Al profesor José Ángel Rueda, por brindarme conocimiento, ayuda, apoyo y una gran amistad a través de todos estos años.

A mis tíos, quienes siempre me han apoyado en todas mis decisiones.

A mis amigos quienes compartieron conmigo todo este proceso y me han brindado su amistad y apoyo siempre.

Jairo Luis Rodríguez Acevedo

AGRADECIMIENTOS

A Jorge Luis Chacón Velasco, Ph.D., director del proyecto y amigo, por su respaldo, confianza y colaboración oportuna.

A Nuestros Padres Y Familiares.

Daniel Snmelinger Chacón Ramírez

Ricardo Andrés Sanabria Romero

Yeisson Leandro Sánchez Gallo

Marlon Fabián Roperó Pineda

Jairo Luis Rodríguez Acevedo

Tabla de contenido

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCCIÓN..... | 50 |
| 1. GENERALIDADES DEL SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN | 52 |
| 1.1. ¿Qué es el seminario de investigación?..... | 52 |
| 1.2. Objetivos del seminario de investigación. | 52 |
| 1.3. Ventajas del seminario de investigación..... | 53 |
| 1.4. Características..... | 55 |
| 1.5. Organización del seminario de investigación. | 55 |
| 1.5.1. Tema del seminario de investigación..... | 56 |
| 1.5.2. Dirección del seminario de investigación..... | 57 |
| 1.5.3. Descripción de los roles..... | 57 |
| 1.6. Metodología. | 58 |
| 2. PLANIFICACIÓN | 59 |
| 2.1. Estudio y selección del material bibliográfico. | 60 |
| 2.2. Descripción de los subtemas. | 61 |
| 2.3. Planeación de las sesiones. | 66 |
| 3. EJECUCIÓN..... | 68 |
| 3.1. Documentación para los temas. | 68 |
| 3.2. Desarrollo de una sesión..... | 68 |
| 3.3. Acta..... | 69 |
| 4. DOCUMENTOS FINALES..... | 70 |
| 4.1. Libro síntesis original. | 70 |
| 4.2. Presentaciones..... | 72 |
| 4.3. Recopilación de documentos..... | 73 |
| BIBLIOGRAFÍA SOBRE EL SEMINARIO ALEMÁN | 73 |
| 5. ASPECTOS GENERALES SOBRE LOS RECURSOS ENERGETICOS | 75 |
| 5.1. Introducción..... | 75 |
| 5.2. Objetivos. | 76 |
| 5.3. Recursos energéticos de la Tierra. Energía, trabajo y potencia..... | 77 |
| 5.4. Formas de la energía..... | 80 |

| | |
|--|-----|
| 5.5. Principales energías aprovechables en la Tierra..... | 82 |
| 5.6. Clasificación de las fuentes de energía de la Tierra. | 83 |
| 5.7. Recursos y reservas, análisis de la energía mundial, producción y consumo. | 85 |
| 5.7.1. Recursos y Reservas..... | 85 |
| 5.7.2. Análisis de la energía mundial | 86 |
| 5.7.3. Estadísticas de la energía a nivel mundial..... | 87 |
| 5.7.4. Demanda de energía mundial..... | 87 |
| 5.7.5. Consumo mundial de energía..... | 89 |
| 5.7.6. Reservas mundiales de los combustibles fósiles..... | 92 |
| 5.8. Crecimiento de la población mundial..... | 97 |
| 5.8.1. Países con mayor número de habitantes en el mundo. | 98 |
| 5.8.2. El Pico de la Producción Mundial de Petróleo. | 100 |
| 5.8.2.1. La predicción del pico mundial..... | 101 |
| 5.8.2.2. Países que ya pasaron el pico de producción. | 103 |
| 5.9. Análisis de la energía en Colombia..... | 104 |
| 5.10. Proyección del consumo de energía mundial para los diferentes tipos de energías..... | 106 |
| 5.11. Situación de las Diferentes Fuentes de Energía en la Tierra. | 107 |
| 5.12. Energía nuclear de fisión..... | 107 |
| 5.12.1. Proceso en un reactor nuclear de Fisión..... | 107 |
| 5.12.2. Potencial energético de la energía de fisión..... | 110 |
| 5.12.3. Formas de aprovechamiento de la energía de fisión..... | 110 |
| 5.12.4. Reservas de la energía de fisión..... | 111 |
| 5.12.5. Consumo y duración prevista de la energía de fisión..... | 112 |
| 5.13. Energía nuclear de fusión..... | 113 |
| 5.13.1. Potencial energético de la energía de fusión..... | 115 |
| 5.13.2. Formas de aprovechamiento de la energía de fusión..... | 115 |
| 5.13.3. Reservas, consumo y duración de la energía de fusión..... | 116 |
| 5.14. Energía del carbón..... | 116 |
| 5.14.1. Formas de aprovechamiento del carbón..... | 117 |
| 5.14.2. Reservas de carbón en Colombia. | 117 |
| 5.15. Energía del Petróleo y del gas natural. | 118 |

| | |
|---|------------|
| 5.15.1. Formas de aprovechamiento del petróleo y del gas natural..... | 119 |
| 5.15.2. Reservas de petróleo en Colombia..... | 119 |
| 5.15.3. Reservas de gas natural en Colombia..... | 120 |
| 5.16. Energía Solar..... | 120 |
| 5.16.1. Formas de aprovechamiento de la energía solar..... | 120 |
| 5.16.2. Producción, consumo y duración de la energía solar..... | 120 |
| 5.17. Energía Eólica..... | 121 |
| 5.17.1. Formas de aprovechamiento de la energía eólica..... | 121 |
| 5.17.2. Producción, consumo y duración de la energía eólica..... | 121 |
| 5.18. Energía Hidráulica..... | 121 |
| 5.18.1. Formas de aprovechamiento de la energía hidráulica..... | 122 |
| 5.18.2. Producción, consumo y duración de la energía hidráulica..... | 122 |
| 5.19. Energía de la biomasa..... | 122 |
| 5.19.1. Formas de aprovechamiento de la energía de la biomasa..... | 122 |
| 5.19.2. Producción, consumo y duración de la energía de la biomasa..... | 123 |
| 5.20. Energía Geotérmica..... | 123 |
| 5.20.1. Formas de aprovechamiento de la energía geotérmica..... | 123 |
| 5.20.2. Producción, consumo y duración de la energía geotérmica..... | 123 |
| 5.21. Energía Mareomotriz..... | 124 |
| 5.21.1. Aprovechamiento de la energía mareomotriz..... | 124 |
| 5.21.2. Producción, consumo y duración de la energía mareomotriz..... | 124 |
| 5.22. Conclusiones..... | 124 |
| 6. ASPECTOS BÁSICOS GENERALES SOBRE LAS TECNOLOGÍAS PARA LA EXPLORACIÓN DE LA ENERGÍA..... | 126 |
| 6.1. Introducción..... | 126 |
| 6.2. Objetivos..... | 126 |
| 6.3. El proceso general de explotación de las fuentes energéticas: energía primaria y energía disponible..... | 127 |
| 6.4. Transformación de una energía no renovable en energía primaria: el caso del petróleo..... | 128 |
| 6.5. Transformaciones de la energía primaria..... | 137 |
| 6.5.1. Caldera de vapor..... | 140 |
| 6.5.2. Motor de combustión interna (alternativo)..... | 142 |

| | |
|--|------------|
| 6.5.3. Turbina de vapor..... | 145 |
| 6.5.4. Intercambiadores de calor..... | 148 |
| 6.5.5. Turbina de gas..... | 149 |
| 6.5.6. Turbina hidráulica..... | 151 |
| 6.5.7. Turbina eólica..... | 152 |
| 6.5.8. Pila de combustible..... | 154 |
| 6.5.9. Generador/motor eléctrico..... | 155 |
| 6.5.10. Transformador eléctrico..... | 156 |
| 6.6. Transporte de la energía. Vectores energéticos..... | 158 |
| 6.7. Centrales energéticas..... | 158 |
| 6.8. Análisis técnico del uso de la energía respecto a la producción-demanda..... | 160 |
| 6.9. Almacenamiento de la energía..... | 161 |
| 6.10. Rendimiento de las transformaciones energéticas..... | 162 |
| 6.11. Tecnologías híbridas..... | 163 |
| 6.12. Conclusiones..... | 163 |
| 7. ASPECTOS ECONÓMICOS Y MEDIOAMBIENTALES DEL USO DE LA ENERGÍA..... | 165 |
| 7.1. Introducción..... | 165 |
| 7.2. Objetivos..... | 165 |
| 7.3. Repercusiones sobre la biosfera a causa la explotación de las actuales fuentes energéticas..... | 167 |
| 7.3.1. El carbono, la base de toda la vida..... | 167 |
| 7.3.2. Energía y productividad biológica..... | 168 |
| 7.4. La contaminación y sus consecuencias..... | 169 |
| 7.5. El calentamiento global: sus causas y consecuencias..... | 171 |
| 7.5.1. Consecuencias de la explotación de las energías fósiles en la Atmósfera..... | 171 |
| 7.5.1.1. El efecto de invernadero..... | 172 |
| 7.5.1.2. La lluvia ácida..... | 173 |
| 7.5.1.3. El smog fotoquímico..... | 177 |
| 7.5.2. Consecuencias de la explotación de las energías fósiles sobre lo seres humanos..... | 178 |
| 7.6. La contaminación radiactiva..... | 180 |
| 7.7. Otras formas de impacto sobre el medio ambiente..... | 181 |

| | |
|--|------------|
| 7.8. Impacto de las energías renovables en el medio ambiente..... | 182 |
| 7.9. Impacto social y económico de los sistemas de energías renovables..... | 183 |
| 7.9.1. Los impactos económicos..... | 183 |
| 7.9.2. Los impactos sociales..... | 184 |
| 7.10. Energía y desarrollo sostenible..... | 185 |
| 7.11. Protocolo de Kioto y otras iniciativas..... | 186 |
| 7.12. Los costes de la implementación de la energía..... | 189 |
| 7.12.1. Costes internos de la energía..... | 190 |
| 7.12.2. Costes externos de la energía..... | 191 |
| 7.13. Conclusiones..... | 192 |
| 8. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA..... | 194 |
| 8.1. Introducción..... | 194 |
| 8.2. Objetivos..... | 194 |
| 8.2.1. General..... | 194 |
| 8.2.1.1. Específicos..... | 194 |
| 8.3. Origen de la Energía Solar Térmica..... | 196 |
| 8.4. Principales usos de la Energía Solar..... | 199 |
| 8.5. Potencial de la Energía Solar Térmica..... | 199 |
| 8.5.1. Coordenadas solares..... | 202 |
| 8.5.2. Estimación de sombras..... | 205 |
| 8.6. Uso de tecnologías en la energía solar térmica..... | 208 |
| 8.6.1. Energía solar activa y energía solar pasiva..... | 209 |
| 8.6.1.1. Energía solar activa..... | 209 |
| 8.6.1.1.1. Tecnología solar térmica de baja temperatura..... | 209 |
| 8.6.1.1.2. Tecnología solar térmica de media temperatura..... | 212 |
| 8.6.1.1.3. Tecnología solar térmica de alta temperatura..... | 214 |
| 8.6.1.2. Energía solar pasiva..... | 216 |
| 8.7. Centrales solares térmicas..... | 217 |
| 8.7.1. Funcionamiento de una central solar térmica..... | 217 |
| 8.7.2. Centrales solares termoeléctricas de media temperatura..... | 218 |
| 8.7.2.1. Elementos Principales de los Colectores Cilindro Parabólicos (CCP)..... | 218 |

| | |
|---|------------|
| 8.7.3. Balance energético en colectores cilindro-parabólicos..... | 220 |
| 8.7.3.1. Pérdidas en un colector cilindro parabólico. | 222 |
| 8.7.3.2. Rendimiento de un colector cilindro parabólico..... | 222 |
| 8.7.4. Centrales solares termoeléctricas de alta temperatura. | 223 |
| 8.7.4.1. Sistemas de discos parabólicos. | 223 |
| 8.7.4.1.1. Elementos principales de un sistema de discos parabólicos. | 224 |
| 8.7.4.2. Sistema de generación. | 224 |
| 8.7.4.3. Sistemas de torre central..... | 226 |
| 8.7.4.3.1. Elementos principales de un sistema de torre central..... | 226 |
| 8.7.4.3.2. Balance energético de un sistema de torre central..... | 228 |
| 8.7.4.3.2.1. Perdidas en la conversión foto-térmica..... | 228 |
| 8.7.4.3.2.2. Perdidas en la captación. | 229 |
| 8.7.4.3.2.3. Perdidas en la captación de la radiación solar concentrada por el receptor. | 229 |
| 8.7.4.3.2.4. Perdidas debido a la atmosfera. | 230 |
| 8.7.4.3.2.5. Perdidas en la parte convencional. | 230 |
| 8.8. Aplicaciones de la energía solar..... | 230 |
| 8.9. Costos de la energía solar térmica. | 231 |
| 8.9.1. Costos de la energía solar térmica de baja temperatura..... | 231 |
| 8.9.1.1. Ejemplo de costo de la energía solar térmica. | 232 |
| 8.9.2. Costos de la energía solar térmica de media y alta temperatura. | 233 |
| 8.10. Desarrollo y avance de la energía solar térmica en Colombia..... | 234 |
| 8.11. Impacto medioambiental por utilizar la energía solar térmica. | 235 |
| 8.11.1. Aspectos Positivos medioambientales por utilizar energía solar térmica..... | 235 |
| 8.11.2. Aspectos Negativos medioambientales por utilizar energía solar térmica. | 235 |
| 8.12. Conclusiones..... | 236 |
| 9. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA | 239 |
| 9.1. Introducción..... | 239 |
| 9.2. Objetivos. | 239 |
| 9.2.1. General..... | 239 |
| 9.2.1.1. Específicos..... | 239 |
| 9.3. Origen de la Energía Solar Fotovoltaica. | 241 |

| | |
|---|-----|
| 9.3.1. Línea de tiempo del Avance y desarrollo de la Energía Solar Fotovoltaica..... | 241 |
| 9.4. Principales usos de la energía solar fotovoltaica..... | 242 |
| 9.4.1. Sistemas aislados..... | 243 |
| 9.4.2. Sistemas conectados a la red eléctrica..... | 243 |
| 9.5. Potencial de la Energía Solar Fotovoltaica..... | 243 |
| 9.6. Tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica..... | 247 |
| 9.6.1. Fundamentos físicos de la célula solar..... | 247 |
| 9.6.1.1. El Átomo..... | 247 |
| 9.6.2. Cuando un cuerpo es conductor y cuando es aislante..... | 249 |
| 9.6.2.1. Elementos semiconductores Intrínsecos..... | 249 |
| 9.6.2.2. Elementos semiconductores extrínsecos..... | 250 |
| 9.6.3. El efecto fotovoltaico..... | 251 |
| 9.6.4. Como se mide la energía solar fotovoltaica..... | 252 |
| 9.6.4.1. Elementos para medir un sistema fotovoltaico..... | 253 |
| 9.6.5. Paneles Solares..... | 255 |
| 9.6.5.1. Materiales de los paneles solares fotovoltaicos..... | 255 |
| 9.6.5.2. Evolución de la eficiencia de las células solares..... | 257 |
| 9.6.5.2.1. Últimas investigaciones en células solares..... | 257 |
| 9.6.6. Parámetros de funcionamiento de una célula solar..... | 259 |
| 9.6.7. Donde y como deben instalarse los paneles solares para un mejor aprovechamiento de la energía..... | 260 |
| 9.6.8. Descripción y características de un sistema fotovoltaico..... | 261 |
| 9.6.8.1. Sistemas fotovoltaicos aislados (autónomos)..... | 262 |
| 9.6.8.2. Sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica..... | 263 |
| 9.7. Centrales solares fotovoltaicas..... | 265 |
| 9.7.1. Instalaciones con aprovechamiento de estructuras..... | 265 |
| 9.7.2. Planta Fotovoltaica..... | 266 |
| 9.7.3. Huertas Solares..... | 268 |
| 9.8. Costos de la energía solar fotovoltaica..... | 269 |
| 9.8.1. Costo de la instalación..... | 270 |
| 9.9. Desarrollo y avance de la energía solar Fotovoltaica en Colombia..... | 270 |
| 9.10. Impacto medioambiental por utilizar la energía solar fotovoltaica..... | 273 |

| | |
|---|------------|
| 9.10.1. Impacto medioambiental por utilizar la energía solar fotovoltaica en sistema aislado. | 273 |
| 9.10.2. Impacto medioambiental por utilizar la energía solar fotovoltaica en sistema conectado a la red eléctrica. | 273 |
| 9.10.3. Aspectos positivos a la hora de utilizar energía solar fotovoltaica. | 273 |
| 9.11. Conclusiones. | 274 |
| 10. ENERGÍA EÓLICA..... | 276 |
| 10.1. Introducción..... | 276 |
| 10.2. Objetivos..... | 276 |
| 10.2.1. Objetivo general. | 276 |
| 10.2.1.1. Objetivos específicos..... | 276 |
| 10.3. El viento..... | 277 |
| 10.4. Potencial del viento. | 279 |
| 10.5. Velocidad del viento en Colombia..... | 280 |
| 10.6. Medición del viento. | 284 |
| 10.6.1. Sensores..... | 284 |
| 10.6.2. Localización y selección de los sensores. | 285 |
| 10.6.3. Dispositivos de almacenamiento..... | 285 |
| 10.6.4. Registro e interpretación de datos. | 286 |
| 10.6.4.1. Distribución de velocidad. | 287 |
| 10.6.4.2. Distribuciones de frecuencia..... | 287 |
| 10.7. Ley exponencial de Hellmann. | 288 |
| 10.8. Potencial eólico en Colombia..... | 289 |
| 10.9. Aprovechamiento de la energía eólica. | 290 |
| 10.10. Aerogeneradores..... | 291 |
| 10.10.1. Componentes de un Aerogenerador. | 291 |
| 10.10.2. Subsistema de Captación..... | 291 |
| 10.10.3. Buje. | 292 |
| 10.10.4. Bujes rígidos. | 292 |
| 10.10.5. Bujes para palas articuladas..... | 292 |
| 10.10.6. Bujes balanceantes. | 293 |
| 10.10.7. Subsistema de transmisión..... | 293 |

| | |
|--|------------|
| 10.10.8. Subsistema eléctrico. | 294 |
| 10.11. Generador asíncrono. | 294 |
| 10.12. Generador síncrono. | 295 |
| 10.13. Generadores acoplados directamente a la red. | 296 |
| 10.14. Subsistema de orientación. | 298 |
| 10.14.1. Orientación activa. | 298 |
| 10.14.2. Orientación pasiva. | 299 |
| 10.15. Subsistema de soporte. | 300 |
| 10.16. Control de los aerogeneradores. | 301 |
| 10.16.1. Control de velocidad de giro en sistemas aislados. | 302 |
| 10.17. Costo del uso de la energía eólica. | 303 |
| 10.18. Impacto ambiental del uso de la energía eólica. | 304 |
| 10.19. Futuro de la energía eólica en Colombia y el Mundo. | 306 |
| 10.20. Futuro de la energía eólica. | 307 |
| 10.21. Conclusiones. | 310 |
| 11. ENERGÍA HIDRÁULICA | 312 |
| 11.1. Introducción. | 312 |
| 11.2. Objetivos. | 312 |
| 11.2.1. Objetivo general. | 312 |
| 11.2.1.1. Objetivos específicos. | 313 |
| 11.3. Historia de la energía hidráulica. | 314 |
| 11.4. Desarrollo de la energía hidroeléctrica. | 317 |
| 11.5. Centrales hidroeléctricas. | 318 |
| 11.5.1. Centrales de agua fluyente. | 319 |
| 11.5.2. Centrales de embalse. | 320 |
| 11.5.3. Centrales de hidrobombeo. | 321 |
| 11.5.4. Centrales hidroeléctricas integradas en canales de riego. | 323 |
| 11.5.5. Centrales en tuberías de suministro de agua potable. | 324 |
| 11.6. Tecnología. Subsistemas de las centrales hidráulicas. | 325 |
| 11.6.1. Obra civil. | 326 |
| 11.6.2. Turbinas hidráulicas. | 330 |

| | |
|--|-----|
| 11.6.2.1. Turbina Ossberger o Banki-Michell..... | 331 |
| 11.6.2.2. Turbina Pelton. | 333 |
| 11.6.2.3. Turbina Turgo. | 334 |
| 11.6.2.4. Turbina Francis. | 336 |
| 11.6.2.5. Turbina Kaplan y semi-Kaplan..... | 340 |
| 11.6.2.6. Campo de utilización y rendimientos de las turbinas..... | 341 |
| 11.6.2.7. Transmisiones mecánicas. | 341 |
| 11.6.3. Generadores eléctricos. | 343 |
| 11.6.4. Subsistema de regulación y control..... | 343 |
| 11.6.5. Subsistema eléctrico auxiliar..... | 344 |
| 11.7. Estado del recurso hídrico en el mundo. | 344 |
| 11.8. Centrales Hidroeléctricas más grandes del mundo..... | 346 |
| 11.9. Estimación de costos de los proyectos hidroeléctricos..... | 348 |
| 11.9.1. Los costos de inversión..... | 348 |
| 11.9.2. Las reposiciones intermediarias. | 350 |
| 11.9.3. Los costos de operación y mantenimiento..... | 350 |
| 11.10. Impacto sobre el medio ambiente de la energía hidráulica..... | 353 |
| 11.11. El potencial hidroeléctrico de América Latina. | 355 |
| 11.12. Ventajas y desventajas de la energía hidráulica. | 356 |
| 11.13. Energía hidráulica en Colombia..... | 357 |
| 11.13.1. El Balance hídrico en Colombia. | 358 |
| 11.14. ISAGEN..... | 359 |
| 11.14.1. Gestión ambiental y social ISAGEN..... | 359 |
| 11.14.2. Isagen en el mercado energético..... | 359 |
| 11.14.3. Producción de energía..... | 360 |
| 11.14.4. Capacidad instalada MW de Isagen..... | 361 |
| 11.14.5. Gestión ambiental y social de ISAGEN. | 362 |
| 11.15. Central hidroeléctrica San Carlos. | 362 |
| 11.15.1. Obras civiles. | 363 |
| 11.15.2. Equipos principales de generación. | 365 |
| 11.15.3. Conexión al sistema de transmisión nacional..... | 365 |

| | |
|---|------------|
| 11.16. Proyecto central hidroeléctrica Sogamoso..... | 366 |
| 11.16.2. Gestión social y ambiental de ISAGEN, proyecto Hidrosogamoso. | 366 |
| 11.16.3. Mesas de trabajo en hidrosogamoso, Propósito..... | 367 |
| 11.16.3.1. Mesas de trabajo en hidrosogamoso. Diagnóstico de las comunidades..... | 367 |
| 11.16.3.2. Mesas de trabajo en Sogamoso, objetivos. | 368 |
| 11.17. Conclusiones. | 369 |
| 12. ENERGÍA DE LA BIOMASA..... | 371 |
| 12.1. Introducción..... | 371 |
| 12.2. Objetivos..... | 371 |
| 12.2.1. Objetivo General..... | 371 |
| 12.2.1.1. Objetivos Específicos..... | 371 |
| 12.3. Biomasa..... | 372 |
| 12.3.1. Biomasa Seca..... | 372 |
| 12.3.2. Biomasa Húmeda..... | 372 |
| 12.4. Combustión..... | 373 |
| 12.5. Gasificación..... | 373 |
| 12.6. Pirolisis. | 374 |
| 12.7. Proceso bioquímico. | 375 |
| 12.7.1. Procesos anaeróbicos..... | 375 |
| 12.7.1.1. Proceso de producción de biogás. | 375 |
| 12.7.1.2. Digestores de biogás. | 376 |
| 12.7.1.2.1. Digestores discontinuos..... | 377 |
| 12.7.1.2.2. Digestores continuos. | 377 |
| 12.7.1.2.2.1. Digestor de mezcla completa. | 377 |
| 12.7.1.2.2.2. Digestor de contacto. | 378 |
| 12.7.1.2.2.3. Digestor de filtro anaeróbico..... | 379 |
| 12.8. Procesos aeróbicos..... | 379 |
| 12.9. Clasificación de la biomasa..... | 380 |
| 12.9.1. Recursos forestales. | 380 |
| 12.9.1.1. Plantaciones energicas..... | 380 |
| 12.9.1.2. Residuos..... | 381 |

| | |
|--|------------|
| 12.9.1.3. Recursos agrícolas..... | 381 |
| 12.10. Aprovechamiento de la biomasa..... | 381 |
| 12.11. La biomasa en Colombia..... | 382 |
| 12.11.1. Potencial de la energía de biomasa en Colombia..... | 382 |
| 12.12. Aplicaciones de la energía de biomasa en Colombia..... | 385 |
| 12.12.1. Producción de alcohol carburante..... | 385 |
| 12.12.2. Biodiesel..... | 386 |
| 12.12.3. Aporte de la Universidad Industrial de Santander en la elaboración del Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia..... | 387 |
| 12.13. Aplicación de la energía de biomasa..... | 387 |
| 12.13.1. Tecnologías aplicadas..... | 387 |
| 12.13.1.1. Combustión directa..... | 388 |
| 12.14. Ventajas de su aplicación. | 389 |
| 12.15. Presente y futuro de la energía de biomasa..... | 389 |
| 12.16. Conclusiones. | 390 |
| 13. ENERGÍA GEOTÉRMICA..... | 392 |
| 13.1. Introducción..... | 392 |
| 13.2. Objetivos | 392 |
| 13.3. Definición de la energía geotérmica..... | 393 |
| 13.4. Gradiente térmico de la Tierra..... | 394 |
| 13.4.1. Conductividad térmica..... | 394 |
| 13.4.2. Corrientes de convección | 395 |
| 13.5. Flujo de calor anormal o yacimientos geotérmicos | 395 |
| 13.6. Formación de acuíferos y zonas hidrotermales | 396 |
| 13.6.1. Fumarolas | 397 |
| 13.6.2. Solfataras..... | 398 |
| 13.6.3. Géiseres..... | 398 |
| 13.7. Potencial de la energía geotérmica en el mundo..... | 399 |
| 13.8. Formas de Aprovechamiento de la energía geotérmica..... | 399 |
| 13.8.1. Aprovechamiento de la energía geotérmica a altas temperaturas..... | 401 |
| 13.8.1.1. Sistemas de conversión directa..... | 401 |

| | |
|---|------------|
| 13.8.1.2. Sistemas de ciclo binario | 402 |
| 13.8.2. Aprovechamiento de la energía geotérmica a bajas temperaturas | 403 |
| 13.8.2.1. Bomba de calor..... | 404 |
| 13.8.2.2. Captador horizontal | 404 |
| 13.8.2.3. Captador vertical | 405 |
| 13.9. Costos de la energía geotérmica..... | 406 |
| 13.10. Ventajas y desventajas de la energía geotérmica..... | 408 |
| 13.10.1. Ventajas de la energía geotérmica | 408 |
| 13.10.2. Desventajas de la energía geotérmica | 408 |
| 13.11. Energía geotérmica en el mundo | 409 |
| 13.11.1. Algunas plantas geotérmicas en el mundo..... | 411 |
| 13.12. Energía geotérmica en Colombia | 412 |
| 13.1. Proyecto geotérmico en el Nevado del Ruiz..... | 414 |
| 13.13. Conclusiones..... | 415 |
| 14. ENERGÍA MAREOMOTRIZ Y ENERGÍA MAREMOTÉRMICA | 416 |
| 14.1. Introducción..... | 416 |
| 14.2. Objetivos | 416 |
| 14.3. Origen de la energía mareomotriz. | 418 |
| 14.4. Potencial de la energía de las mareas..... | 421 |
| 14.4.1. Medida de las mareas. | 424 |
| 14.5. Métodos de extracción de energía de mareas. | 425 |
| 14.5.1. Energía utilizable con un estuario con dique..... | 425 |
| 14.5.2. Energía utilizable con una turbina de corrientes..... | 427 |
| 14.6. Tecnologías para aprovechar la energía mareomotriz. | 428 |
| 14.6.1. Evolución histórica..... | 428 |
| 14.6.2. Sistemas de aprovechamiento de la energía Mareomotriz..... | 431 |
| 10.6.2.1. Tecnología de estuarios y diques..... | 431 |
| 14.6.2.2. Tecnología de turbinas de corrientes marinas..... | 435 |
| 14.7. Diferentes dispositivos de generación de energía mareomotriz. | 437 |
| 14.8. Energía mareomotriz dinámica..... | 439 |
| 14.9. Tecnologías utilizadas en las centrales. | 440 |

| | |
|---|------------|
| 14.9.1. Turbinas Se pueden subdividir en dos tipologías..... | 440 |
| 14.10. Costos del uso de la energía mareomotriz..... | 442 |
| 14.11. Energía mareomotriz en Colombia..... | 443 |
| 14.11.1. Potencial de Generación en Colombia..... | 444 |
| 14.11.2. Selección de los sitios de posible utilización..... | 444 |
| 14.11.3. Potencial mareomotriz de cada sitio..... | 446 |
| 14.11.4. Limitantes para la generación de energía mareomotriz..... | 448 |
| 14.12. Impacto que tiene al utilizar la energía de las mareas en el medio ambiente..... | 449 |
| 14.13. Situación actual, frente a la explotación de la energía de las mareas..... | 450 |
| 14.14. Origen de la energía mareomotérmica..... | 453 |
| 14.14.1. Potencial de la energía Mareomotérmica..... | 456 |
| 14.14.2. Tecnologías y sistemas para aprovechar la energía Mareomotérmica..... | 458 |
| 14.14.3. Costos del uso de la energía Mareomotérmica..... | 461 |
| 14.14.4. Ventajas de la energía Mareomotérmica..... | 464 |
| 14.14.5. Desventajas de la energía Mareomotérmica..... | 466 |
| 14.15. Situación actual y las perspectivas de futuro de esta fuente energética renovable..... | 467 |
| 14.16. Conclusiones..... | 467 |
| 15. ENERGÍA DE LAS OLAS | 469 |
| 15.1. Introducción..... | 469 |
| 15.2. Objetivos..... | 470 |
| 15.3. Origen de las energías de las olas..... | 471 |
| 15.4. Potencial de la energía de las olas..... | 473 |
| 15.5. Tecnología de aprovechamiento..... | 475 |
| 15.6. Explotación de la energía de las olas..... | 477 |
| 15.7. Impacto ambiental..... | 479 |
| 15.8. Conclusiones..... | 481 |
| 16. VIABILIDAD DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN COLOMBIA..... | 482 |
| 16.1. Introducción..... | 482 |
| 16.2. Objetivos..... | 483 |
| 16.2.1. General..... | 483 |
| 16.2.1.1. Específicos..... | 483 |

| | |
|---|------------|
| 16.3. Viabilidad Jurídica, técnica y económica de las energías renovables en Colombia. | 484 |
| 16.3.1. Viabilidad Jurídica de las energías renovables en Colombia. | 484 |
| 16.3.2. Viabilidad Técnica de las energías renovables en Colombia. | 486 |
| 16.3.2.1. Viabilidad técnica de la energía Solar (térmica y fotovoltaica) en Colombia. | 488 |
| 16.3.2.2 Viabilidad técnica de la energía Eólica en Colombia..... | 489 |
| 16.3.2.3. Viabilidad técnica de la energía de la Biomasa en Colombia..... | 490 |
| 16.3.2.4. Viabilidad técnica de la energía Hidráulica en Colombia. | 491 |
| 16.3.2.5. Viabilidad técnica de la energía Geotérmica en Colombia..... | 493 |
| 16.3.2.6. Viabilidad técnica de la energía Mareomotriz y de las Olas en Colombia..... | 494 |
| 16.3.3. Viabilidad Económica de las energías renovables en Colombia. | 496 |
| 16.3.3.1. Viabilidad económica de la energía Solar (térmica y fotovoltaica) en Colombia..... | 497 |
| 16.3.3.2. Viabilidad económica de la energía Eólica en Colombia. | 497 |
| 16.3.3.3. Viabilidad económica de la energía de la Biomasa en Colombia. | 498 |
| 16.3.3.4. Viabilidad económica de la energía Hidráulica en Colombia..... | 499 |
| 16.3.3.5. Viabilidad económica de la energía Geotérmica en Colombia. | 500 |
| 16.3.3.6. Viabilidad técnica de la energía Mareomotriz y de las Olas en Colombia..... | 500 |
| 16.4. Conclusiones. | 501 |
| 17. MODELAMIENTO DE SISTEMAS DE ENERGÍAS RENOVABLES, ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y ENERGÍA EÓLICA, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE MATLAB..... | 503 |
| 17.1. Introducción..... | 503 |
| 17.2. Objetivos..... | 504 |
| 17.2.1. Objetivo general. | 504 |
| 17.2.1.1. Objetivos específicos..... | 504 |
| 17.3. Descripción general del programa y sus características..... | 505 |
| 17.4. Conclusiones. | 519 |
| 18. CONCLUSIONES GENERALES DEL SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍAS ALTERNATIVAS: AVANCE Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN COLOMBIA | 520 |
| BIBLIOGRAFÍA | 527 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| FIGURA 1 DESARROLLO DE UNA SESIÓN DEL SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN | 68 |
| FIGURA 2. FORMATO DEL ACTA | 69 |
| FIGURA 3 CARÁTULA DEL LIBRO SÍNTESIS..... | 71 |
| FIGURA 4 PORTADA | 72 |
| FIGURA 5 CONTEXTUALIZACIÓN DEL TEMA | 73 |
| FIGURA 6 TRABAJO REALIZADO SOBRE UNA MASA M..... | 79 |
| FIGURA 7. FUENTES ENERGÉTICAS DE LA TIERRA | 83 |
| FIGURA 8 CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES ENERGÉTICAS DE LA TIERRA | 85 |
| FIGURA 9 DEMANDA MUNDIAL DE ENERGÍA..... | 88 |
| FIGURA 10 COMPARACIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA | 89 |
| FIGURA 11 CONSUMO MUNDIAL DE ENERGÍA | 89 |
| FIGURA 12 COMPARACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA MUNDIAL..... | 90 |
| FIGURA 13 CONSUMO DE ENERGÍA MUNDIAL POR REGIÓN..... | 91 |
| FIGURA 14 CONSUMO DE ENERGÍA MUNDIAL POR REGIÓN..... | 91 |
| FIGURA 15 RESERVAS COMPROBADAS DE PETRÓLEO POR PAÍSES..... | 93 |
| FIGURA 16 RESERVAS COMPROBADAS DE GAS NATURAL | 95 |
| FIGURA 17 RESERVAS COMPROBADAS DE CARBÓN | 97 |
| FIGURA 18 CRECIMIENTO POBLACIONAL MUNDIAL | 98 |
| FIGURA 19. PAÍSES CON MAYOR NÚMERO DE HABITANTES EN EL MUNDO | 99 |
| FIGURA 20 WORLD POPULATION | 100 |
| FIGURA 21 CURVA TEÓRICA DE HUBBERT PARA UN RECURSO ENERGÉTICO | 101 |
| FIGURA 22 PICO DE LA PRODUCCIÓN MUNDIAL..... | 102 |
| FIGURA 23 PICO DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO POR PAÍSES 2004 | 103 |
| FIGURA 24 DEMANDA FINAL DE ENERGÍA EN COLOMBIA..... | 104 |
| FIGURA 25. ESCENARIOS DE PROYECCIÓN DE DEMANDA NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA..... | 105 |
| FIGURA 26 CONSUMO DE ENERGÍA MUNDIAL PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE ENERGÍAS..... | 106 |
| FIGURA 27 REACCIÓN DE FISIÓN | 108 |
| FIGURA 28 REACCIÓN DE FISIÓN EN CADENA | 108 |
| FIGURA 29 PROCESO BÁSICO AL INTERIOR DE UN REACTOR NUCLEAR..... | 109 |
| FIGURA 30 REACTOR NUCLEAR DE FISIÓN..... | 110 |
| FIGURA 31 CENTRAL NUCLEAR DE FISIÓN | 111 |
| FIGURA 32 REACCIONES DE FUSIÓN | 115 |
| FIGURA 33 REACTOR NUCLEAR DE FUSIÓN ITER..... | 116 |
| FIGURA 34 CENTRAL TÉRMICA DE CARBÓN | 117 |
| FIGURA 35 PASOS DE TRANSFORMACIÓN ENERGÉTICA..... | 127 |
| FIGURA 36 SÍSMICA REFLEXIÓN..... | 129 |
| FIGURA 37. BROCAS DE PERFORACIÓN..... | 130 |
| FIGURA 38 MESA DE PERFORACIÓN..... | 131 |
| FIGURA 39 TORRE DE PERFORACIÓN | 131 |
| FIGURA 40 BOMBEO DE LODOS | 132 |
| FIGURA 41 ESQUEMA BÁSICO DEL SISTEMA DE PERFORACIÓN | 133 |
| FIGURA 42 SISTEMA DE PERFORACIÓN EN EL MAR | 134 |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 43 BOMBA DE EXTRACCIÓN DE PETRÓLEO | 134 |
| FIGURA 44 PETROLERO Y OLEODUCTOS..... | 135 |
| FIGURA 45. COSMOS..... | 136 |
| FIGURA 46 OBTENCIÓN DE FRACCIONES COMBUSTIBLES | 136 |
| FIGURA 47. COMPONENTES RELEVANTES DEL PETRÓLEO | 137 |
| FIGURA 48. TRANSFORMACIONES ENERGÉTICAS MÁS USUALES | 138 |
| FIGURA 49. EQUIPOS EMPLEADOS PARA TRANSFORMACIONES ENERGÉTICAS..... | 140 |
| FIGURA 50 ESQUEMA CONCEPTUAL DE UNA CALDERA DE VAPOR..... | 141 |
| FIGURA 51 COMBUSTIBLE LÍQUIDO..... | 142 |
| FIGURA 52 COMBUSTIBLE SÓLIDOS | 142 |
| FIGURA 53 ESQUEMA CONCEPTUAL DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA | 143 |
| FIGURA 54 FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DE CUATRO TIEMPOS | 144 |
| FIGURA 55 FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DE DOS TIEMPOS..... | 145 |
| FIGURA 56 ESQUEMA CONCEPTUAL DE UNA TURBINA DE VAPOR | 146 |
| FIGURA 57 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA TURBINA DE VAPOR | 146 |
| FIGURA 58 ESQUEMA DE UNA TURBINA DE VAPOR MULTITAPA | 147 |
| FIGURA 59 ROTOR DE UNA TURBINA DE VAPOR..... | 147 |
| FIGURA 60 ESQUEMA CONCEPTUAL DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR | 148 |
| FIGURA 61 INTERCAMBIADOR DE CASCOS Y TUBOS | 149 |
| FIGURA 62. ESQUEMA CONCEPTUAL DE UNA TURBINA DE GAS..... | 149 |
| FIGURA 63. COMPONENTES TÍPICOS DE UNA TURBINA DE GAS..... | 150 |
| FIGURA 64. ESQUEMA CONCEPTUAL DE UN CICLO CERRADO..... | 151 |
| FIGURA 65. ESQUEMA CONCEPTUAL DE UNA TURBINA HIDRÁULICA | 152 |
| FIGURA 66. TURBINA PELTON | 152 |
| FIGURA 67. ESQUEMA CONCEPTUAL DE UNA TURBINA EÓLICA | 152 |
| FIGURA 68. COMPONENTES DE UNA TURBINA EÓLICA..... | 153 |
| FIGURA 69 ESQUEMA CONCEPTUAL DE UNA PILA DE COMBUSTIBLE | 154 |
| FIGURA 70 PILA COMBUSTIBLE..... | 155 |
| FIGURA 71 ESQUEMA CONCEPTUAL DE UN GENERADOR/MOTOR ELÉCTRICO | 156 |
| FIGURA 72 ESQUEMA CONCEPTUAL DE UN TRANSFORMADOR ELÉCTRICO | 157 |
| FIGURA 73. COMPONENTES ESENCIALES DE UNA CENTRAL TÉRMICA | 159 |
| FIGURA 74 BALANCE ENERGÉTICO EN COLOMBIA | 160 |
| FIGURA 75. SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA | 161 |
| FIGURA 76 PROCESO DE FOTOSÍNTESIS | 168 |
| FIGURA 77 EFECTO DE INVERNADERO | 173 |
| FIGURA 78 LLUVIA ACIDA | 175 |
| FIGURA 79 CAPA DE OZONO EN LA ANTÁRTIDA. | 176 |
| FIGURA 80 E MISIÓN DE CONTAMINANTES EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA | 183 |
| FIGURA 81 RECONSTRUCCIÓN DEL ASPECTO DE LA TIERRA ILUMINADA DE NOCHE | 186 |
| FIGURA 82 EL SOL Y LA TIERRA..... | 196 |
| FIGURA 83 ENERGÍA DEL SOL QUE LLEGA A LA TIERRA | 197 |
| FIGURA 84. COMPONENTES DE LA RADIACIÓN SOLAR..... | 198 |
| FIGURA 85 RADIACIÓN DIFUSA Y REFLEJADA | 199 |
| FIGURA 86 MAPA DE LA RADIACIÓN SOLAR EN EL MUNDO | 200 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 87 MOVIMIENTO ELÍPTICO DE LA TIERRA ALREDEDOR DEL SOL | 201 |
| FIGURA 88 INCIDENCIA DE LOS RAYOS SOLARES EN ÉPOCA DE VERANO Y ÉPOCA DE INVIERNO | 202 |
| FIGURA 89 POSICIÓN TRIGONOMÉTRICA DEL SOL | 203 |
| FIGURA 90. ÁNGULOS SIGNIFICATIVOS DE LA SUPERFICIE CAPTADORA | 204 |
| FIGURA 91 PORCENTAJE DE ENERGÍA RESPECTO AL MÁXIMO COMO CONSECUENCIA DE LAS PÉRDIDAS DE INCLINACIÓN Y ORIENTACIÓN..... | 204 |
| FIGURA 92 SOMBRA QUE ES PROYECTADA POR UN OBSTÁCULO..... | 205 |
| FIGURA 93 DIAGRAMA DE TRAYECTORIA SOLAR PARA UN ÁNGULO DE LATITUD 40°..... | 206 |
| FIGURA 94 DIAGRAMA DE LA TRAYECTORIA DEL SOL | 207 |
| FIGURA 95 PÉRDIDAS ADMISIBLES EN PANELES SOLARES TÉRMICOS | 207 |
| FIGURA 96 CLASIFICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR..... | 208 |
| FIGURA 97. SUBSISTEMAS PRINCIPALES EN TECNOLOGÍA SOLAR A BAJA TEMPERATURA | 210 |
| FIGURA 98 DETALLE DE UN SISTEMA DE CIRCULACIÓN FORZADA..... | 211 |
| FIGURA 99 PRINCIPIO SOLAR DE TERMOSIFÓN..... | 212 |
| FIGURA 100 ESQUEMA DE UN CAPTADOR SOLAR TÉRMICO DE MEDIA TEMPERATURA | 213 |
| FIGURA 101. CAPTADOR CILÍNDRICO PARABÓLICO UTILIZADO EN SISTEMAS DE MEDIA TEMPERATURA | 214 |
| FIGURA 102 SISTEMA SOLAR CON TORRE Y HELIOSTATO | 215 |
| FIGURA 103 COLECTORES CILÍNDRICO-PARABÓLICOS | 215 |
| FIGURA 104 DISCOS STIRLING..... | 216 |
| FIGURA 105 EDIFICACIÓN BIOCLIMÁTICA | 216 |
| FIGURA 106 CENTRAL SOLAR TÉRMICA..... | 217 |
| FIGURA 107 SEGUIMIENTO SOLAR TÍPICO DE UN COLECTORES CILINDRO PARABÓLICOS..... | 219 |
| FIGURA 108 ESTRUCTURA METÁLICA DE UN COLECTOR | 219 |
| FIGURA 109 ELEMENTOS PRINCIPALES DE LOS COLECTORES CILINDRO PARABÓLICOS | 220 |
| FIGURA 110 ANGULO DE ACEPTACIÓN DE UN COLECTOR CILINDRO PARABÓLICO | 221 |
| FIGURA 111 SISTEMA DE DISCOS STIRLING PARA UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE ALTA TEMPERATURA | 224 |
| FIGURA 112 CICLO TERMODINÁMICO DE POTENCIA..... | 225 |
| FIGURA 113 ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE DISCOS PARABÓLICOS..... | 226 |
| FIGURA 114 ESQUEMAS DE ALGUNOS TIPOS DE RECEPTORES..... | 227 |
| FIGURA 115 HELIOSTATO DE LA CENTRAL SOLAR TERMOELÉCTRICA SOLAR TWO..... | 228 |
| FIGURA 116 COSTOS DE LA TECNOLOGÍA SOLAR TÉRMICA DE BAJA TEMPERATURA | 232 |
| FIGURA 117 EJEMPLO DE COSTOS DE TECNOLOGÍA SOLAR TÉRMICA DE MEDIA Y BAJA TEMPERATURA | 233 |
| FIGURA 118 MAPA DE LA RADIACIÓN SOLAR EN COLOMBIA..... | 234 |
| FIGURA 119 ESPECTRO SOLAR..... | 244 |
| FIGURA 120 DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LAS LONGITUDES DE ONDA..... | 245 |
| FIGURA 121 EL ÁTOMO | 247 |
| FIGURA 122 ESQUEMA IMPLICADO DEL ÁTOMO | 248 |
| FIGURA 123 ÁTOMO DE SILICIO | 249 |
| FIGURA 124 EFECTO FOTOVOLTAICO..... | 251 |
| FIGURA 125 SOLARIMETRO | 253 |
| FIGURA 126 PIRANOMETRO | 254 |
| FIGURA 127 MEDIDOR FOTOVOLTAICO..... | 254 |
| FIGURA 128 TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS..... | 256 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 129 PORCENTAJE DE PRODUCCIÓN DE CELULARES SOLARES DE DISTINTOS MATERIALES | 256 |
| FIGURA 130 TECNOLOGÍA DE TRIPLE UNIÓN | 258 |
| FIGURA 131 PARÁMETROS DE UNA CÉLULA FOTOVOLTAICA EN FUNCIÓN DE LA CORRIENTE Y EL VOLTAJE | 260 |
| FIGURA 132 RECORRIDO DEL SOL EN EL HEMISFERIO NORTE Y HEMISFERIO SUR..... | 261 |
| FIGURA 133 ESQUEMA DE UNA INSTALACIÓN AUTÓNOMA | 262 |
| FIGURA 134 SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED | 264 |
| FIGURA 135 CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA | 266 |
| FIGURA 136 PLANTA FOTOVOLTAICA DE ESTRUCTURA ESTÁTICA | 267 |
| FIGURA 137 PLANTAS FOTOVOLTAICAS CON SEGUIDORES..... | 267 |
| FIGURA 138 HUERTA SOLAR..... | 268 |
| FIGURA 139 COSTOS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA 1980-2009 | 269 |
| FIGURA 140 PRINCIPALES PAÍSES IMPORTADORES DE MATERIALES SEMICONDUCTORES A COLOMBIA | 272 |
| FIGURA 141 EFECTO DE LAS FUERZAS SOBRE LA ATMOSFERA | 278 |
| FIGURA 142 DISTRIBUCIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO | 280 |
| FIGURA 143 MAPA DE LA VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO EN SUPERFICIE | 283 |
| FIGURA 144 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN DIAS..... | 287 |
| FIGURA 145 DENSIDAD DE PROBABILIDAD EXPERIMENTAL Y TEÓRICA | 288 |
| FIGURA 146 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDAD DEL VIENTO EN LUGARES DE MAYOR APROVECHAMIENTO EN COLOMBIA | 289 |
| FIGURA 147 MOLINO DE LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL | 291 |
| FIGURA 148 AEROGENERADOR A MEDIADOS DEL SIGLO XX | 291 |
| FIGURA 149 TIPOS DE BUJES | 292 |
| FIGURA 150 CAJA DE ENGRANAJE..... | 293 |
| FIGURA 151 FRENO DE DISCO..... | 294 |
| FIGURA 152 GENERADOR DE JAULA DE ARDILLA..... | 295 |
| FIGURA 153 AEROGENERADOR E-33 | 296 |
| FIGURA 154 GENERADOR ASÍNCRONO CONECTA A LA RED | 296 |
| FIGURA 155 GENERADOR SÍNCRONO CONECTADO A LA RED CON CONVERTIDOR..... | 297 |
| FIGURA 156 GENERADOR ASÍNCRONO CON CONTROL DE DESLIZAMIENTO CONECTADO A LA RED..... | 297 |
| FIGURA 157 MOTO-REDUCTOR DEL SISTEMA DE ORIENTACIÓN..... | 298 |
| FIGURA 158 SISTEMA ORIENTADO POR VELETA | 299 |
| FIGURA 159 SISTEMA ORIENTADO POR ROTORES AUXILIARES | 299 |
| FIGURA 160 BASTIDOR DE LA TORRE DE AEROGENERADOR..... | 300 |
| FIGURA 161 CARCASA DEL AEROGENERADOR | 301 |
| FIGURA 162 CONTROL DE UN AEROGENERADOR ASÍNCRONO DE PASO FIJO | 302 |
| FIGURA 163 CONTROL DE VELOCIDAD DE GIRO EN SISTEMAS AISLADOS..... | 303 |
| FIGURA 164 COSTO DE INSTALACIÓN..... | 304 |
| FIGURA 165 RUIDO CAUSADO POR UN AEROGENERADOR | 305 |
| FIGURA 166 PARQUE EÓLICO DE JEPÍRACHI..... | 306 |
| FIGURA 167 POTENCIAL DE PARQUES OFFSHORE INSTALADOS..... | 308 |
| FIGURA 168 ENERGÍA EÓLICA INSTALADA..... | 309 |
| FIGURA 169 MOLINO DE AGUA NÓRDICO O GRIEGO | 315 |
| FIGURA 170 MOLINO ROMANO | 315 |
| FIGURA 171 CENTRAL DE AGUA FLUYENTE | 319 |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 172 CENTRAL DE EMBALSE | 321 |
| FIGURA 173 FUNCIONAMIENTO DE UNA CENTRAL DE BOMBEO PURO | 322 |
| FIGURA 174 CENTRAL EN PROPIO CANAL DE RIEGO, APROVECHANDO UN DESNIVEL..... | 324 |
| FIGURA 175 CENTRAL PARALELA DE RIEGO..... | 324 |
| FIGURA 176 CENTRAL EN RED DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE..... | 325 |
| FIGURA 177 COMPUERTA TIPO TAINTOR..... | 328 |
| FIGURA 178 ESQUEMA CONCEPTUAL DE UNA TURBINA HIDRÁULICA..... | 330 |
| FIGURA 179 ROTOR OSSBERGER | 332 |
| FIGURA 180 TURBINA PELTON DE EJE HORIZONTAL..... | 334 |
| FIGURA 181 TURGO HYDRO (WATER) TURBINE GENERATOR UNIT | 335 |
| FIGURA 182 TURBINA FRANCIS..... | 337 |
| FIGURA 183 ESQUEMA Y COMPONENTES DE UNA TURBINA FRANCIS | 338 |
| FIGURA 184 ESQUEMA DE LA TURBINA KAPLAN..... | 340 |
| FIGURA 185 RANGO DE UTILIZACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE TURBINAS | 341 |
| FIGURA 186 ESQUEMA TURBINA KAPLAN CON MULTIPLICADOR Y GENERADOR..... | 342 |
| FIGURA 187 RELACIÓN ENTRE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA Y LA POBLACIÓN MUNDIAL..... | 344 |
| FIGURA 188 CAPACIDAD HIDROELÉCTRICA INSTALADA EN EL MUNDO..... | 347 |
| FIGURA 189 CENTRALES HIDROELÉCTRICAS MÁS GRANDES EN EL MUNDO..... | 348 |
| FIGURA 190 DISTRIBUCIÓN DE COSTOS DE INVERSIÓN | 349 |
| FIGURA 191. RANGOS DE COSTOS DE INVERSIÓN PARA LOS DIFERENTES TAMAÑOS DE PROYECTOS. COSTOS DE INVERSIÓN DE PROYECTOS A DIFERENTES ESCALAS..... | 349 |
| FIGURA 192 COSTES ESPECÍFICOS DE LA INSTALACIÓN PARA EL CASO DE MINICENTRALES HASTA 8MW.. | 351 |
| FIGURA 193 INVERSIÓN DE LOS PROYECTOS DE HIDROELÉCTRICAS | 352 |
| FIGURA 194 IMPACTO SOBRE RÍOS DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA..... | 354 |
| FIGURA 195 POTENCIAL INSTALADO EN AMÉRICA LATINA | 356 |
| FIGURA 196 DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN COLOMBIA POR ÁREA HIDROGRÁFICA | 358 |
| FIGURA 197 ISAGEN EN EL MERCADO ENERGÉTICO | 360 |
| FIGURA 198 CAPACIDAD INSTALADA EN MW EN COLOMBIA..... | 361 |
| FIGURA 199 CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN CARLOS | 363 |
| FIGURA 200 MESAS DE TRABAJO HIDROSOGAMOSO | 367 |
| FIGURA 201 CLASIFICACIÓN DE LA BIOMASA..... | 372 |
| FIGURA 202 PROCESO TERMOQUÍMICO..... | 373 |
| FIGURA 203 GASIFICACIÓN..... | 374 |
| FIGURA 204. PIROLISIS..... | 374 |
| FIGURA 205 PROCESO BIOQUÍMICO | 375 |
| FIGURA 206 ESQUEMA DE UN PROCESO ANAERÓBICO | 376 |
| FIGURA 207 DIGESTOR DE BIOGÁS | 376 |
| FIGURA 208 DIGESTOR DISCONTINUO CONVENCIONAL | 377 |
| FIGURA 209 DIGESTOR DE MEZCLA COMPLETA | 378 |
| FIGURA 210 DIGESTOR DE CONTACTO | 378 |
| FIGURA 211 DIGESTOR DE FILTRO ANAERÓBICO | 379 |
| FIGURA 212 PROCESOS AERÓBICOS | 380 |
| FIGURA 213 POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA RESIDUAL DEL SECTOR AGRÍCOLA EN COLOMBIA ... | 383 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 214 POTENCIAL ENERGÉTICO DEPARTAMENTAL DE LA BIOMASA RESIDUAL DEL SECTOR AGRÍCOLA | 384 |
| FIGURA 215 CULTIVO DE MAÍZ | 385 |
| FIGURA 216 PLANTAS DE ETANOL EN PRODUCCIÓN..... | 386 |
| FIGURA 217 CALDERA DE BIOMASA | 388 |
| FIGURA 218 PLANTA DE GASIFICADORES..... | 389 |
| FIGURA 219 CAPAS DE LA TIERRA | 393 |
| FIGURA 220 GRADIENTE GEOTÉRMICO DE LA TIERRA | 394 |
| FIGURA 221 CORRIENTES DE CONVECCIÓN..... | 395 |
| FIGURA 222 FLUJO ANORMAL DE CALOR EN LAS DIFERENTES ZONAS GEOLÓGICAS DE LA TIERRA | 396 |
| FIGURA 223 FORMACIÓN DE ACUÍFEROS Y ZONAS HIDROTÉRMICAS..... | 397 |
| FIGURA 224 FUMAROLAS. VULCANO. ISLAS EÓLIDAS..... | 397 |
| FIGURA 225 SOLFATARA DE POZZUOLI..... | 398 |
| FIGURA 226 GÉISER OLD FAITHFUL, PARQUE NACIONAL DE YELLOWSTONE, ESTADOS UNIDOS..... | 398 |
| FIGURA 227 POTENCIAL DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN EL MUNDO | 399 |
| FIGURA 228 CLASIFICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS Y SUS USOS PRINCIPALES..... | 400 |
| FIGURA 229 SISTEMA DE CONVERSIÓN DIRECTA | 401 |
| FIGURA 230 SISTEMA DE CICLO BINARIO | 402 |
| FIGURA 231 CENTRAL GEOTÉRMICA DE CICLO BINARIO | 403 |
| FIGURA 232 FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE CALOR..... | 404 |
| FIGURA 233 CAPTADOR HORIZONTAL..... | 405 |
| FIGURA 234 CAPTADOR VERTICAL | 406 |
| FIGURA 235 CRECIMIENTO DE LA CAPACIDAD DE ENERGÍA GEOTÉRMICA INSTALADA EN EL MUNDO EN MW. | 409 |
| FIGURA 236 RANKING DE PAÍSES SEGÚN CAPACIDAD GEOTÉRMICA INSTALADA 2010 | 410 |
| FIGURA 237 APLICACIONES DE USO DIRECTO DE LA GEOTERMIA EN EL MUNDO | 410 |
| FIGURA 238 RAFT RIVER GEOTHERMAL POWER PLANT..... | 411 |
| FIGURA 239 PLANTA GEOTÉRMICA DE NESJAVELLIR, ISLANDIA..... | 412 |
| FIGURA 240 PLANTA GEOTÉRMICA DE OKARIA II EN KENYA..... | 412 |
| FIGURA 241 ZONAS GEOTÉRMICAS POTENCIALMENTE APROVECHABLES EN COLOMBIA..... | 413 |
| FIGURA 242 ORIGEN DE LAS MAREAS..... | 420 |
| FIGURA 243 ESQUEMA CONCEPTUAL DE UNA FORMA DE APROVECHAMIENTO DE LAS MAREAS | 421 |
| FIGURA 244 LUGARES DEL MUNDO CON RECURSOS MAREOMOTRICES | 422 |
| FIGURA 245 CENTRALES MAREOMOTRICES EN EL MUNDO | 424 |
| FIGURA 246 MAREÓGRAFO..... | 425 |
| FIGURA 247 MOLINO DE MAREAS EN LA ISLA DE BREHAT (FRANCIA)..... | 428 |
| FIGURA 248 CENTRAL MAREOMOTRIZ RANCE (FRANCIA)..... | 430 |
| FIGURA 249 CENTRAL MAREOMOTRIZ ANNAPOLIS (CANADÁ)..... | 431 |
| FIGURA 250 ESQUEMA CONCEPTUAL DE UNA CENTRAL MAREOMOTRIZ DE CICLO ELEMENTAL DE SIMPLE EFECTO | 433 |
| FIGURA 251 TIPO DE TURBINAS UTILIZADAS..... | 434 |
| FIGURA 252. ALGUNOS SISTEMAS DE SUSTENTACIÓN DE TURBINAS DE EJE VERTICAL | 435 |
| FIGURA 253 CENTRAL MAREOMOTRIZ | 436 |
| FIGURA 254 MIGHTY WHALE..... | 437 |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 255 ANACONDA | 438 |
| FIGURA 256 BLUE ENERGY OCEAN TURBINA | 439 |
| FIGURA 257 TURBINAS AXIALES HORIZONTALES | 441 |
| FIGURA 258 TURBINA AXIAL VERTICAL | 441 |
| FIGURA 259 GENERADOR | 442 |
| FIGURA 260 SITIOS DE POSIBLE UTILIZACIÓN DE ENERGÍA MAREOMOTRIZ | 445 |
| FIGURA 261 CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS | 446 |
| FIGURA 262 SITIOS MÁS APTOS PARA POSIBLES DESARROLLOS MAREOMOTRICES | 447 |
| FIGURA 263 COMPARATIVA DE COSTOS | 448 |
| FIGURA 264 PROPUESTAS DE INSTALACIONES DE CENTRALES MAREOMOTRICES..... | 451 |
| FIGURA 265 TERMOCLINA | 454 |
| FIGURA 266 ESQUEMA CONCEPTUAL DE UNA CENTRAL TÉRMICA CONVENCIONAL..... | 455 |
| FIGURA 267 ESQUEMA CONCEPTUAL DE UNA CENTRAL MAREOMOTÉRMICA..... | 456 |
| FIGURA 268 ZONAS DEL MUNDO TÉRMICAMENTE FAVORABLES | 457 |
| FIGURA 269 ESQUEMA CONCEPTUAL DE UNA CENTRAL MAREOMOTÉRMICA DE CICLO ABIERTO | 459 |
| FIGURA 270 ESQUEMA CONCEPTUAL DE UNA CENTRAL MAREOMOTÉRMICA DE CICLO CERRADO | 460 |
| FIGURA 271 ESQUEMA CONCEPTUAL DE UNA CENTRAL MAREOMOTÉRMICA DE CICLO HÍBRIDO | 461 |
| FIGURA 272 COSTES DE INVERSIÓN DE PLANTA MAREOMOTÉRMICA | 462 |
| FIGURA 273 COSTES DE INVERSIÓN DE PLANTA MAREOMOTÉRMICA | 463 |
| FIGURA 274 COSTES ESTIMADOS DE UNA PLANTA MAREOMOTÉRMICA FLOTANTE DE 100 MW | 464 |
| FIGURA 275. DIVERSOS USOS DE LA ENERGÍA MAREOMOTÉRMICA | 465 |
| FIGURA 276 NIVELES DE MAREA | 472 |
| FIGURA 277 DISPOSITIVO DE MEDIDA DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL OLEAJE | 474 |
| FIGURA 278 DISTRIBUCIÓN GLOBAL DE LA ENERGÍA DE LAS OLAS EN kW POR M ² DE ANCHO DE OLA | 474 |
| FIGURA 279. DIFERENTES DISPOSITIVOS PARA EXTRAER LA ENERGÍA DE LAS OLAS..... | 476 |
| FIGURA 280 EVOLUCIÓN PREVISTA DEL COSTE DE LA ENERGÍA PRODUCIDA | 479 |
| FIGURA 281 MAPA ZONAS NO INTERCONECTADAS A NIVEL NACIONAL..... | 487 |
| FIGURA 282 COMPARATIVA PARA DIVERSAS ZONAS CON POSIBILIDAD DE CENTRAL MAREOMOTRIZ | 500 |
| FIGURA 283. DIAGRAMA DE FLUJO COSTOS HÍBRIDOS | 506 |
| FIGURA 284 DIAGRAMA DE FLUJO EJEMPLO HÍBRIDO..... | 510 |
| FIGURA 285 MANUAL ILUSTRATIVO DE LA INTERFAZ | 518 |
| FIGURA 286 MODELO ILUSTRATIVO DE LA APLICACIÓN HÍBRIDO..... | 518 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| TABLA 1 ASIGNACIÓN DE ROLES EN LA EJECUCIÓN DEL SEMINARIO | 67 |
| TABLA 2 UNIDADES DE MEDIDA DE LA ENERGÍA | 78 |
| TABLA 3 PAÍSES CON RESERVAS DE URANIO | 112 |
| TABLA 4 DISTRIBUCIÓN DE RESERVAS DE CARBÓN POR DEPARTAMENTOS..... | 118 |
| TABLA 5 POTENCIAL DE LA ENERGÍA SOLAR EN COLOMBIA, DIVIDIDA EN REGIONES | 235 |
| TABLA 6 VELOCIDADES DEL VIENTO EN LA SUPERFICIE COLOMBIANA | 281 |
| TABLA 7 VALORES DEL EXPONENTE DE HELLMANN | 288 |
| TABLA 8 COSTOS DE CAPITAL DE UNA PLANTA GEOTÉRMICA..... | 407 |
| TABLA 9 COMPARACIÓN DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA CON OTRAS FUENTES DE ENERGÍA..... | 407 |
| TABLA 10 ESTADO DE LOS ACTUALES PROYECTOS GEOTÉRMICOS EN COLOMBIA..... | 414 |
| TABLA 11 POSIBLES ZONAS DE DESARROLLO DE LA ENERGÍA MAREOMOTRIZ Y DE LAS OLAS..... | 495 |

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Acta general de las sesiones firmada.

Anexo B. Optimal sizing study of hybrid wind PV diesel power generation unit.

GLOSARIO

- ✓ EIA: Administración de Información Energética de Estados Unidos, o EIA es el organismo de estadística y de análisis en el Departamento de Energía de los Estados Unidos.
- ✓ IEA: Agencia Internacional de la Energía, o IEA por sus siglas en inglés, es una organización internacional, creada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).
- ✓ Julio: unidad de energía en el Sistema Internacional, el cual es el trabajo realizado por una fuerza de un Newton en un desplazamiento de un metro en dirección de la fuerza.
- ✓ kWh: kilovatio-hora, unidad de medición de consumo eléctrico. Un kilovatio-hora es la energía necesaria para mantener una potencia constante de un kilovatio durante una hora, y equivale a 3600000 julios.
- ✓ OECD: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, u OECD por sus siglas en inglés, es una organización de cooperación internacional.
- ✓ TEP: Tonelada Equivalente de Petróleo, es una unidad de energía y equivale aproximadamente a 41840 MJ.
- ✓ TPES (Total Primary Energy Supply): Suministro total de energía primaria. Indicador de consumo de la IEA, mide la cantidad de energía que obtiene un país o el mundo durante un período de tiempo dado para su consumo, ya sea en uso final o en centros de transformación.
- ✓ Fotosíntesis: consiste en la fabricación de alimentos por medio de la luz, a partir del agua, las sales minerales y el dióxido de carbono, desprendiendo oxígeno.
- ✓ Dicloro Difenil Tricloroetano: El DDT (Dicloro Difenil Tricloroetano) o más exactamente 1, 1, 1-tricloro-2,2-bis (4-clorofenil)-etano, de fórmula $(C_6H_4)_2CH(CCl_3)$ es un compuesto órgano principal de los insecticidas. Es incoloro.

Es muy soluble en las grasas y en disolventes orgánicos, y prácticamente insoluble en agua. Su peso molecular es de 354 g/mol.

- ✓ Toxicidad: La capacidad o la propiedad de una sustancia de causar efectos adversos sobre la salud.
- ✓ Nitrato de peroxiacetilo: Nitrato de peroxiacetilo. Oxidante tóxico del smog fotoquímico que se forma en la atmósfera, en presencia de luz solar, a partir de las reacciones químicas de los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno, resultado principalmente de las emisiones de vehículos automotores.
- ✓ Protocolo de Kioto: Acuerdo internacional firmado entre los 159 países que asistieron en diciembre de 1997, en Kioto, Japón, a la Tercera Conferencia de las Partes (CdP) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC). Su objetivo es reducir, a nivel mundial, las emisiones de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorcarburos, perfluorcarburos y hexafloruro de azufre).
- ✓ Energías renovables: Son las energías que se obtienen de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales.
- ✓ Fusión: proceso físico que consiste en el cambio de estado de la materia, del estado sólido al estado líquido, por la acción del calor.
- ✓ Irradiación: Emisión y propagación de una radiación, como la luz, el calor u otro tipo de energía
- ✓ Radiación electromagnética: es un tipo de campo electromagnético variable, es decir, una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro.
- ✓ Pirheliómetro: es un instrumento para la medición del haz directo de irradiación solar. La luz del sol entra en el instrumento a través de una ventana y es dirigida sobre una termopila, que convierte el calor en una señal eléctrica que se puede grabar.

- ✓ Piranómetro: es un instrumento meteorológico utilizado para medir de manera muy precisa la radiación solar incidente sobre la superficie de la tierra.
- ✓ Pirgeómetro: adecuado para las mediciones de radiación W/m^2 de onda larga o infrarroja, parte de la radiación emitida por el sol, con ángulo de visión en 150° en aplicaciones meteorológicas.
- ✓ Solsticio de verano: ocurre cuando la inclinación del semieje de un planeta, ya sea en el hemisferio norte o en el sur, está más inclinado hacia la estrella (el sol) que su órbita.
- ✓ Solsticio de invierno: corresponde al instante en que la posición del Sol en el cielo se encuentra a la mayor distancia angular negativa del ecuador celeste.
- ✓ sistema térmico: es una cantidad de región o materia que ocupa un lugar en el espacio y que elegimos para su estudio.
- ✓ Sistema fotovoltaico: es un sistema que produce electricidad de origen renovable, obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica.
- ✓ Rendimiento térmico: Considera todas las pérdidas térmicas que tienen lugar en un proceso térmico.
- ✓ Ciclo termodinámico: es denominado a cualquier serie de procesos termodinámicos tales que, al transcurso de todos ellos, el sistema regresa a su estado inicial; es decir, que la variación de las magnitudes termodinámicas propias del sistema sea nula.
- ✓ Heliostatos: conjunto de espejos que se mueven sobre dos ejes normalmente en montura de caballo, lo que permite, con los movimientos apropiados, mantener el reflejo de los rayos solares que inciden sobre él en todo momento en un punto o pequeña superficie, deshaciendo en el rayo reflejado el movimiento diurno terrestre.
- ✓ Discos parabólicos: concentran los rayos solares hacia un punto focal ubicado en su centro.

- ✓ Combustibles fósiles: Se agrupan bajo esta denominación el carbón, el petróleo y el gas natural, productos que por sus características químicas se emplean como combustibles. Se han formado naturalmente a través de complejos procesos biogeoquímicos, desarrollados bajo condiciones especiales durante millones de años.
- ✓ Espectro solar: Distribución de la energía que es irradiada por una fuente luminosa, que viene ordenada por unos valores de longitud de onda, es particular la secuencia matizada por la descomposición de los colores del iris, como resultado de la descomposición de la luz solar que pasa a través de un prisma refractor.
- ✓ Absortividad: A la medida de la cantidad de luz absorbida por una disolución, definida como la unidad de absorbancia por unidad de concentración por unidad de longitud de la trayectoria de luz.
- ✓ Célula solar: es un dispositivo capaz de convertir la energía proveniente de la radiación solar en energía eléctrica.
- ✓ Átomo: es un constituyente de la materia ordinaria, con propiedades químicas bien definidas, formado a su vez por constituyentes más elementales sin propiedades químicas bien definidas.
- ✓ Neutrón: es una partícula subatómica, un nucleón, sin carga neta, presente en el núcleo atómico de prácticamente todos los átomos, excepto el protio.
- ✓ Protón: es una partícula subatómica con una carga eléctrica elemental positiva 1.6×10^{-19} C. Igual en valor absoluto y de signo contrario a la del electrón, y una masa 1836 veces superior a la de un electrón.
- ✓ Electrón: es una partícula subatómica con una carga eléctrica elemental negativa.
- ✓ Viabilidad jurídica: es el tipo de función a la hora de realizar un proceso mediante los requerimientos legales
- ✓ Viabilidad técnica: se analiza ante una idea, para observar si un proyecto se puede llevar a cabo de una manera satisfactoria con la tecnología disponible.

- ✓ Viabilidad económica: determina el coste de la solución óptima y que minimiza el coste de todas las demandas y fuentes.
- ✓ Protocolo de Kioto: es un protocolo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), y un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global.
- ✓ IVA: impuesto sobre el valor agregado o impuesto sobre el valor añadido es una carga fiscal sobre el consumo aplicada en muchos países, y generalizado en la Unión Europea.
- ✓ Azud: Muro grueso, generalmente más pequeño que una presa, construido en un río para reconducir el agua hacia un canal o acequia.
- ✓ Bypass: Es un bypass el paso entre la cabeza del motor y la bomba del agua cuando se ha cerrado el termostato.
- ✓ Cavitación: La cavitación es la formación de bolsas de vapor dentro de un líquido, las cuales, generalmente, se presentan en las proximidades de las superficies sólidas que lo limitan.
- ✓ UNESCO PHI: Oficina Regional de Ciencias para América Latina y el Caribe.
- ✓ IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.
- ✓ Inducción electromagnética: es el fenómeno que origina la producción de una fuerza electromotriz (f.e.m. o tensión) en un medio o cuerpo expuesto a un campo magnético variable
- ✓ Fuerza electromotriz: La fuerza electromotriz (FEM) es toda causa capaz de mantener una diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito abierto o de producir una corriente eléctrica en un circuito cerrado
- ✓ ley de Faraday: es aquella que establece que el voltaje inducido en un circuito cerrado es directamente proporcional a la rapidez con que cambia en el tiempo el flujo magnético que atraviesa una superficie cualquiera con el circuito como borde.

- ✓ Electroquímico, ca: Rama de la química que estudia la influencia de la electricidad en determinados cuerpos y la obtención de la misma a partir de reacciones químicas.
- ✓ Aero turbinas: Máquina que transforma la energía cinética del viento en energía mecánica de rotación, útil para efectuar trabajo. Consiste en un rotor (palas ancladas a un soporte de acero llamado "buje" o "cubo") y un eje que transmite el giro del rotor a un dispositivo para producir trabajo (generador, bomba).
- ✓ cámara de combustión: La cámara de combustión es el lugar donde se realiza la combustión del combustible con el comburente, generalmente aire, en el motor de combustión interna.
- ✓ Lumbrera de escape: Aberturas accionadas por el movimiento del pistón, a través de las cuales se efectúa la evacuación de los gases quemados en los motores de 2 tiempos.
- ✓ Ignición: La Ignición ocurre cuando el calor que emite una reacción llega a ser suficiente como para sostener la reacción química. El paso repentino desde un gas frío hasta alcanzar un plasma se denomina también ignición
- ✓ Destilación: es la operación de separar, mediante vaporización y condensación en los diferentes componentes líquidos, sólidos disueltos en líquidos o gases licuados de una mezcla
- ✓ Lecho marino: Se considera como relieve oceánico al manto de tierra que se encuentra al fondo de los océanos. También puede ser llamado relieve del mar, relieve submarino o lecho oceánico.
- ✓ Estuario: es la desembocadura en el mar de un río amplio y profundo, e intercambia con éste agua salada y agua dulce, debido a las mareas
- ✓ Presión neumática: La presión neumática es la presión generada por cualquier tipo de gas, en general la presión del aire. Se genera por que cierto volumen de aire es comprimido y administrado por diversos componentes mecánicos.

- ✓ Litoral: El litoral constituye el área de transición entre los sistemas terrestres y los marinos. Conceptualmente es ecotono, una frontera ecológica que se caracteriza por intensos procesos de intercambio de materia y energía
- ✓ Salinidad: La salinidad es el contenido de sales minerales disueltas en un cuerpo de agua. Dicho de otra manera, es válida la expresión *salinidad* para referirse al contenido salino en suelos o en agua
- ✓ Turbidez: Se entiende por turbidez o turbiedad la falta de transparencia de un líquido debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el líquido (generalmente se hace referencia al agua), más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez
- ✓ Freón: es el nombre comercial de un grupo clásicamente de clorofluorocarbonos usados principalmente como refrigerantes. La palabra Freón es una marca registrada perteneciente a DuPont.
- ✓ Payback: El Pay-back, es denominado como un periodo medio de maduración, es uno de los llamados métodos de selección estáticos.

RESUMEN

TÍTULO:

SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍAS ALTERNATIVAS: AVANCE Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN COLOMBIA*

AUTORES:

Daniel Smelinger Chacón Ramírez
Ricardo Andrés Sanabria Romero
Yeisson Leandro Sánchez Gallo
Marlon Fabián Roperó Pineda
Jairo Luis Rodríguez Acevedo**.

PALABRAS CLAVES:

Energías alternativas, energías renovables, energía en Colombia.

DESCRIPCIÓN:

El campo de las energías alternativas ha tomado una gran relevancia para el mundo en los últimos años, ya que el consumo mundial de energía ha aumentado progresivamente, y los recursos disponibles que sustentan ese consumo, siendo en su mayoría los combustibles fósiles, no proporcionarán la energía necesaria para un desarrollo energético sustentable de la humanidad. La demanda de consumo de energía mundial aumenta cada día, esto hace que la explotación de los recursos energéticos del planeta sea cada vez mayor, y que el consumo de estos sea desproporcionado en comparación con la disponibilidad que se tiene. Es importante tener en cuenta que los combustibles fósiles además de ser la fuente principal de energía, generan una gran contaminación ya que liberan compuestos químicos que alteran la atmósfera, y por ende desestabilizan el clima, provocando lo que hoy conocemos como cambio climático o calentamiento global. Es por esta razón que se ha iniciado a nivel mundial un desarrollo de fuentes de energías renovables, llamadas también energías alternativas. Estas energías soportarán esta dependencia energética que se tiene de los combustibles fósiles, para que sea posible garantizar un desarrollo energético sostenible y una disminución de la contaminación del medio ambiente.

En Colombia aunque la mayoría de energía eléctrica se genera a partir de la energía hidráulica, el desarrollo de otras fuentes de energías renovables se encuentra en su fase inicial. Este seminario de investigación estudia las principales fuentes de energías renovables en Colombia, así como futuros proyectos a desarrollar en este campo. Esta industria va a ser muy importante para el futuro del planeta y de Colombia.

* Proyecto de grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela De Ingeniería Mecánica. Director Ph.D., Jorge Luis Chacón Velasco.

ABSTRACT

TITLE:

RESEARCH SEMINAR IN ALTERNATIVE ENERGIES: PROGRESS AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT IN COLOMBIA*

AUTHORS:

Daniel Snmelinger Chacón Ramírez
Ricardo Andrés Sanabria Romero
Yeisson Leandro Sánchez Gallo
Marlon Fabián Roperó Pineda
Jairo Luis Rodríguez Acevedo**.

KEY WORDS:

Alternative energies, renewable energies, energy in Colombia.

DESCRIPTION:

The industry of alternative energies has taken a great importance for the world in recent years, as the global energy consumption has steadily increased, and resources that support that consumption, being mostly fossil fuels, will not provide the energy required for a sustainable energy development of humanity. The demand for global energy consumption is rising every day, this makes the exploitation of energy resources of the planet increases, and that their consumption is disproportionate comparing to the availability that Earth has. It is important to note that fossil fuels as well as being the main source of energy generate high pollution because they release chemical substances that alter the atmosphere and that destabilize the climate, causing what we know as climate change or global warming. It is for this reason that it has initiated global development of renewable energy sources, also called alternative energies. These energies will support the energy dependence that we have on fossil fuels, which will make possible the sustainable energy development and the decreasing of environmental pollution.

In Colombia although most electricity is generated from hydropower, the development of other renewable energies is in its initial phase. This research seminar examines the main sources of renewable energies in Colombia, as well as future projects to be developed in this industry. This industry will be very important for the future of the planet and Colombia.

*Graduation Project

** Faculty of Physics Mechanic Engineering, School of Mechanical Engineering, Director Ph. D., Jorge Luis Chacon Velasco.

PRESENTACIÓN

El Acuerdo 004 de 2007 del Consejo Superior, aprobó la modificación del Reglamento Académico Estudiantil de Pregrado, en su Título V, Capítulo IX “Del Trabajo de Grado”; su propósito es fortalecer la relación Universidad-Sociedad, incrementar la movilidad estudiantil y favorecer el crecimiento de los estudiantes con nuevas experiencias, para lo cual amplió a nueve las modalidades para la realización del Trabajo de Grado.

Dentro de las modalidades establecidas, se encuentra el “Seminario de Investigación”, el cual fue incluido por considerar que es una excelente oportunidad para articular los procesos de formación e investigación y para que los estudiantes adquieran competencias interpretativas, argumentativas y propositivas. El Seminario de Investigación también es conocido como “Seminario Alemán”, debido a que se originó en el siglo XVIII en Alemania. Esta modalidad es definida en el Acuerdo Superior 4 de 2007 como “Un proceso reflexivo, sistemático y crítico que tiene como propósito fortalecer en el estudiante las habilidades requeridas en el manejo de la información y la comunicación para desarrollar investigación científica, valiéndose de la formación para el trabajo tanto personal como en equipo, y original sobre un tema específico. Asimismo busca iniciar el estudio de nuevos objetos de investigación de interés para la Escuela”; además, dicho Acuerdo establece las normas para la planeación, ejecución y evaluación de este seminario como modalidad para el Trabajo de Grado.

En razón a que en la Universidad se utiliza como técnica de aprendizaje el seminario en muchas de las asignaturas, y la necesidad de marcar las diferencias entre el Seminario de Investigación o Seminario Alemán y esta otra alternativa, la Vicerrectoría Académica elaboró éste documento; así como con el propósito de brindar una guía que apoye a los profesores y estudiantes en el desarrollo del Seminario de Investigación.

Ésta Vicerrectoría espera que este documento aporte y enriquezca los procesos de formación e investigación de nuestra Institución.

INTRODUCCIÓN

Gracias al interés de los nuevos investigadores y las nuevas tecnologías a nivel global y en Colombia, se ha podido desarrollar el siguiente seminario el cual es de gran importancia para ver Colombia, en que panorama se encuentra dentro del campo de las energías alternativas.

Colombia posee mucho potencial en energías alternativas y en el seminario se busca dar un panorama claro de cómo este tipo de energías (solar, eólica, hidráulica, biomasa, geotérmica, mareomotriz y de las olas), pueden contribuir al desarrollo energético del país.

Para tener una idea general, una energía alternativa es aquella fuente que tiene energía ilimitada y que es independiente de las fuentes de energías convencionales que se usan hoy en día. El uso de estas energías, es prácticamente nuevo en el mundo, y cada vez más países están despertando su interés en ellas.

En el seminario, primero se toma el tema de los aspectos generales sobre los recursos energéticos, siendo el capítulo en mención el que brinda los conceptos claves para entender las ideas y temas del seminario.

Segundo, se visualiza un panorama de porque se debe usar este tipo de energías, a puertas de una eventual crisis energética. Más adelante se pueden visualizar los mecanismos para que se produzca todo el proceso de transformación de la energía.

Al terminar estos importantes ítems, se empieza a analizar cada energía como tal(definiciones, formas de aprovechamiento de este tipo de energías, costos, aspectos positivos y negativos, panorama de estas energías en Colombia y las respectivas viabilidades, tanto jurídicas, tecnológicas y económicas de las energías alternativas en el país), y para concluir se desarrolla un programa en el software Matlab, donde se da una aplicación de un sistema solar fotovoltaico y eólico en una región especificada.

SECCIÓN 1.

EL SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN

1. GENERALIDADES DEL SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN

1.1. ¿Qué es el seminario de investigación?

El seminario de investigación, también conocido como seminario Alemán, es una actividad académica, cuyo origen se dio a finales del siglo XVIII en la Universidad de GOTTINGEN (Alemania) para renovar las estrategias de estudio y formación de los investigadores, y demostrar que la docencia y la investigación se pueden unir y complementar para obtener mejores resultados[1].

Este consiste en estudiar, discutir e intercambiar experiencias acerca de un tema en particular, en un grupo, en el cual sus participantes, se intercomunican exponiendo dicho tema (la relatoría), complementándolo, evaluándolo (la correlatoría), aportando entre todos (la discusión), sacando conclusiones y planteando nuevos interrogantes permitiendo que todo ello quede en la memoria escrita (el protocolo)[2].

El seminario de investigación se programa por temas los cuales son seleccionados con la orientación del director del seminario, quien con su experiencia y conocimiento del tema, guía la selección con la debida pertinencia, actualidad y ubicación en el contexto.

Los temas son desarrollados en sesiones planificadas, en las cuales, los miembros del grupo deben asumir diferentes roles, de acuerdo con la descripción anterior, manteniendo una relación de interés y compromiso con el conocimiento, sin jerarquías, en un clima de colaboración y participación activa [3].

1.2. Objetivos del seminario de investigación.

Formar a los participantes para la investigación científica mediante el desarrollo de habilidades específicas aplicadas al asumir los diferentes roles dentro del seminario.

1 Néstor H. Bravo Salinas, El seminario Investigativo – El seminario como práctica pedagógica para la formación integral

2 Carlos M. Vélez S, Resumen El Seminario Investigativo, basado en el Simposio permanente sobre la Universidad 1990-1992 ASCUN.

Dichas habilidades están orientadas a desarrollar la capacidad del lector crítico de resultados de investigación en cualquiera de las áreas del conocimiento, a fortalecer la capacidad de observar e identificar los problemas presentes en temas bajo análisis, a buscar respuestas a preguntas claves y sustentarlas teórica y metodológicamente en forma verbal y por escrito y a identificar las relaciones del

Problema objeto de estudio con el contexto económico, político o social, con el fin de enriquecer con una mirada integral, el conocimiento para el grupo de integrantes. Para ello se programan y ejecutan ejercicios estructurados que permiten a los estudiantes desarrollar competencias iniciales de investigador, avanzar en el conocimiento y aportar buenas revisiones y análisis sobre tópicos que puedan facilitar el desarrollo de la investigación.

Para alcanzar dicho objetivo es preciso que exista una formación desde el trabajo personal hacia el trabajo en equipo; para esto, cada participante debe reconocer sus intereses, su estilo de aprendizaje, su capacidad para aprender en interacción con pares; debe apropiarse de la metodología e instrumentos con los cuales trabajará, con el fin de lograr, al interactuar con los miembros del grupo en las sesiones del seminario, compartir, criticar y corregir las ideas que surjan de él, en un ambiente de colaboración mutua. Los seminarios de investigación, no se enfocan hacia la repetición de trabajos ya realizados, sino hacia la búsqueda de respuestas con nuevos argumentos; por tal razón los trabajos que se deriven del cumplimiento del objetivo del seminario, deben caracterizarse por su originalidad y estar acordes al nivel científico de formación de sus participantes.

1.3. Ventajas del seminario de investigación.

El seminario de investigación, como herramienta para el desarrollo integral, presenta las siguientes ventajas:

- ✓ Permite a los participantes contar con un director (Profesor) durante el seminario, el cual les guía hacia la consecución de los propósitos establecidos, y además, resuelve las dudas e inquietudes o en su defecto, orienta sobre las fuentes de consulta y ayuda a los miembros del grupo en la búsqueda para suplir las necesidades de información.

- ✓ Fortalece el hábito de documentarse acerca del tema bajo estudio. Para esto los participantes recurren a fuentes bibliográficas, bases de datos, textos de referencia; este ejercicio refuerza el desarrollo de las competencias interpretativas, argumentativas y propositivas; les permite apropiarse y aprender de los métodos que emplearon los autores de los artículos y textos, así como también, reconocer su valor y aporte a la investigación.
- ✓ Permite que los participantes desempeñen diferentes roles dentro del grupo, desarrollando habilidades comunicativas y de relaciones interpersonales, complementarias para la formación tanto personal como profesional.
- ✓ Fomenta el aprendizaje como una experiencia grupal, permite experimentar la eficiencia del trabajo en equipo y si el grupo está conformado por estudiantes de diferentes áreas del conocimiento, la riqueza de la interdisciplinariedad, características todas aplicables y necesarias en el desempeño laboral del mundo de hoy.
- ✓ Permite el uso de distintas herramientas didácticas de apoyo al desarrollo de las sesiones, así como un control sobre la planificación establecida de estas.
- ✓ Es una metodología integradora centrada en el estudiante, con amplio potencial para fortalecer la habilidad de aprender a aprender, fundamental para tomar el perfil del ciudadano del siglo XXI, quien deberá asumir el compromiso de aprender a lo largo de la vida, como lo plantea J. Delors[3]. Sus ventajas la hacen aplicable a todas las áreas del conocimiento humano y no solo a algunas como equivocadamente pudiera pensarse [4].

3 Jaques Delors et al. La Educación Encierra un Tesoro. Informe a la UNESCO de la Comisión Internacional sobre la educación para el siglo XXI. Paris, 1996.

4 Carlos M. Vélez S, Resumen El Seminario Investigativo, basado en el Simposio permanente sobre la Universidad 1990-1992 ASCUN.

1.4. Características.

El seminario de investigación posee las siguientes características:

- ✓ Participación activa de todos los miembros del seminario, puesto que no solo el director (Profesor) interviene, sino también todos los integrantes del grupo realizan su aporte desde el rol que estén desempeñando. En este proceso los participantes siendo discípulos empiezan a recorrer el camino de maestros.
- ✓ El seminario de investigación está conformado por un grupo reducido, de aprendizaje activo y cooperativo, inducido a investigar, reflexionar, descubrir y concluir.
- ✓ Sesiones desarrolladas utilizando medios didácticos de apoyo al aprendizaje.
- ✓ Empleo del dialogo permanente para compartir los conocimientos adquiridos. Ambiente amable y cooperativo fomentando la mayor participación de los integrantes del grupo.
- ✓ La estructura del seminario y todas las actividades y parámetros para desarrollarlas, son planificados en la primera sesión.
- ✓ El seminario de investigación exige a los participantes una alta responsabilidad para lograr la preparación adecuada, que les permita tener bases para llevarlo a cabo.

1.5. Organización del seminario de investigación.

El seminario de investigación se compone de las siguientes actividades: La relatoría, la correlatoría, la discusión y el protocolo, las cuales deben girar en torno a un tema del que se desprenden los subtemas que se tratan durante las sesiones.

Dichas actividades son responsabilidad de los integrantes del grupo, por lo cual a cada uno de ellos les es asignado un rol de carácter rotativo; es así como una persona que en una sesión asume el rol de correlator, podrá asumir el rol de la

relatoría en la siguiente sesión, es decir, el responsable de la relatoría y otro el de protocolante.

La organización del seminario también implica establecer el lugar donde se llevará a cabo, el número de sesiones, y el cronograma de desarrollo donde se encuentran estipuladas las fechas para realizarlo; así como la duración de cada una de las actividades (relatoría, correlatoría, discusión y protocolo).

El seminario de investigación en energías alternativas: avance y desarrollo tecnológico en Colombia está compuesto por:

Director: Ph. D., **Jorge Luis Chacón Velasco.**

Participantes: **Daniel Snmelinger Chacón Ramírez**

Ricardo Andrés Sanabria Romero

Yeisson Leandro Sánchez Gallo

Marlon Fabián Roper Pineda

Jairo Luis Rodríguez Acevedo

A los participantes se les asigna un rol para cada sesión. Las sesiones se llevan a cabo en los salones 103 o 205 de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander. El seminario está dividido en doce (12) sesiones cada una con un tema y subtemas específicos como se muestra en la sección 2.2. Las sesiones están programadas para una duración de una hora y media.

1.5.1. Tema del seminario de investigación.

El tema del seminario de investigación fue una iniciativa que surgió entre los participantes del seminario y el director Jorge Luis Chacón Velasco. Mediante este seminario se propone la investigación, estudio y análisis de toda la información relacionada en el campo de las energías alternativas, enfocado principalmente al desarrollo que Colombia ha tenido en los últimos años en cuanto a este tema, y que apenas está en su fase inicial. El propósito de este seminario es debatir todo lo concerniente al futuro de las energías alternativas y su importancia como fuentes

de energías renovables, teniendo como finalidad establecer una línea de investigación en energías alternativas para la Escuela de Ingeniería Mecánica.

1.5.2. Dirección del seminario de investigación.

La dirección del seminario de investigación en energías alternativas: Avance y desarrollo tecnológico en Colombia estuvo a cargo del Ingeniero Jorge Luis Chacón Velasco, quien cuenta con experiencia en docencia e investigación científica sobre el sector energético, tiene varias líneas de investigación en el campo de las energías alternativas y cuenta con un grupo llamado GIEMA, Grupo de Investigación en Energía y Medio Ambiente.

Su función como director del seminario fue orientar y liderar todo el proceso investigativo, brindando principalmente asesoría y pautas para el correcto proceso en la investigación y el alcance exitoso de los objetivos propuestos.

1.5.3. Descripción de los roles.

La relatoría

Es el procedimiento a través del cual el **RELATOR** expone el tema correspondiente en la sesión del seminario.

El Relator tiene como misión enriquecer, como resultado de su investigación y estudio, el saber de los demás, buscando por medio de una argumentación rigurosa, aportar algo nuevo que permita avanzar en el conocimiento sobre el objeto de estudio.

La correlatoría

Consiste en la complementación y enriquecimiento de la relatoría por parte de un **CORRELATOR**, el cual debe estar atento a la relatoría, pues no debe repetir lo expuesto, sino evaluar el contenido, con claridad y el manejo de la exposición, con el fin de plantear su reflexión personal, y su posición frente a la relatoría, de una manera crítica destacando los aportes más relevantes de la relatoría y motivando a los **PARTICIPANTES** al debate.

La discusión

Es el medio a través del cual los **PARTICIPANTES** con base en lo expuesto en la relatoría y argumentación del correlator, confrontan con sus concepciones y apreciaciones del tema. Esta dinámica se desarrolla a

manera de discusión, la cual se caracteriza por ser de carácter positivo, argumentativo y enfocado al enriquecimiento del trabajo en grupo. La discusión requiere la participación oportuna y respeto por las opiniones de los demás, criticándolas de forma constructiva.

El protocolo

Es la evidencia escrita del desarrollo de cada sesión del seminario y un insumo para la elaboración del informe final. Este debe ser leído antes de comenzar cada sesión, ya que es un acta de lo ocurrido en la anterior y de los compromisos planteados. Su autor es el **PROTOCOLANTE**, el cual redacta un documento con las actividades tal y como fueron desarrolladas, utilizando un lenguaje claro y conciso.

1.6. Metodología.

Para el desarrollo exitoso del seminario de investigación en energías alternativas: Avance y desarrollo tecnológico en Colombia garantizando claridad en las sesiones y cumplimiento de los objetivos planteados en el plan de trabajo, se escogió una metodología contenida en tres fases: Planeación, ejecución y documentos finales; las cuales se relacionan entre sí dependiendo cada una de la anterior.

2. PLANIFICACIÓN.

En esta fase se establecen los lineamientos bajo los cuales se pretende desarrollar el seminario, se establecen los objetivos, metas y resultados que se esperan obtener mediante la selección del tema de investigación, el estudio bibliográfico, los subtemas y la planificación de las sesiones.

Los objetivos del seminario de investigación en energías alternativas son:

OBJETIVO GENERAL:

Desarrollar un seminario de investigación en energías alternativas con un enfoque hacia el avance y desarrollo tecnológico actual en Colombia. El seminario estará sustentado en el marco de las directrices establecidas por la vicerrectoría académica y el seminario alemán en cuanto al aporte de roles, la discusión crítica, propositiva, argumentativa e investigación científica como formación integral de los participantes, y además tendrá como propósito establecer la base teórica para la implementación de una asignatura electiva en el programa de pregrado de la escuela de ingeniería mecánica, con el fin de formar estudiantes y profesionales comprometidos con el desarrollo e investigación de nuevas tecnologías en el campo de las energías alternativas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ✓ Elaborar un documento síntesis original donde estén compilados los resúmenes, relatorías, protocolos, discusión, resultados y demás actividades del seminario de investigación basados en los temas de la siguiente estructura:
 1. Aspectos Generales Sobre Los Recursos Energéticos.
 2. Aspectos Básicos Generales Sobre Las Tecnologías Para La Explotación De La Energía.
 3. Aspectos Económicos Y Medioambientales Del Uso De La Energía.
 4. Energía Solar Térmica
 5. Energía Solar Fotovoltaica.
 6. Energía Eólica.
 7. Energía Hidráulica.
 8. Energía De La Biomasa.

9. Energía Geotérmica.
10. Energía Mareomotriz Y Mareomotérmica.
11. Energía De Las Olas
12. Aplicación De Las Energías Alternativas: Modelamiento de algunos sistemas de energías alternativas mediante el software Matlab.

- ✓ Implementar los diferentes tipos de materiales académicos en formatos electrónicos mediante la plataforma virtual TIC. En esta plataforma estarán todos los archivos recopilados, como resúmenes, artículos, videos y demás fuentes de información necesarias para la adecuada implementación de la asignatura electiva y que estarán disponibles virtualmente para los estudiantes.
- ✓ Consultar en diferentes fuentes bibliográficas y electrónicas todo la información relacionada con los diferentes tipos de energías alternativas para la recolección, estudio, análisis y su posterior debate en el seminario. Además de esto, realizar una recopilación y análisis del estado del arte de esta temática, lo que incluye: artículos en revistas científicas, libros, documentos, Internet, periódicos, videos, etc., estructurando una base de datos que sirva como una plataforma para la actualización de estudiantes y profesionales en el tema de interés.
- ✓ Modelar algunos sistemas de energías renovables como energía solar fotovoltaica y energía eólica, mediante el software Matlab, para el cálculo de la potencia generada de estos sistemas en una región determinada.

2.1. Estudio y selección del material bibliográfico.

La bibliografía se definió en la elaboración del plan del proyecto antes de iniciar el seminario. Esta se basó en la búsqueda exhaustiva de información concisa sobre los temas mencionados anteriormente, datos relevantes y de interés para la consecución del seminario. Sin embargo, a pesar de la bibliografía previamente seleccionada, durante el desarrollo del seminario, los participantes si lo consideraban necesario, podían recurrir a fuentes nuevas de información que aporten datos relevantes.

La información recopilada previamente para desarrollar el tema del seminario:

2.2. Descripción de los subtemas.

1. ASPECTOS GENERALES SOBRE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS

- 1.1. Recursos energéticos de la Tierra. Energía, trabajo y potencia.
- 1.2. Formas de la energía.
- 1.3. Principales energías aprovechables en la Tierra.
- 1.4. Clasificación de las Fuentes energía de la Tierra.
- 1.5. Recursos y reservas, análisis de la energía mundial, producción y consumo.
- 1.6. Crecimiento poblacional mundial.
- 1.7. Análisis de la energía en Colombia.
- 1.8. Proyección del consumo de energía mundial para los diferentes tipos de energías.
- 1.9. Situación de las diferentes fuentes de energía en la Tierra.
- 1.10. Energía nuclear de fisión
- 1.11. Energía nuclear de fusión.
- 1.12. Energía del carbón.
- 1.13. Energía del petróleo y del gas natural.
- 1.14. Energía solar.
- 1.15. Energía eólica,
- 1.16. Energía hidráulica.
- 1.17. Energía de la biomasa.
- 1.18. Energía geotérmica.
- 1.19. Energía mareomotriz
- 1.20. Conclusiones.

2. ASPECTOS BÁSICOS GENERALES SOBRE LAS TECNOLOGÍAS PARA LA EXPLOTACIÓN DE LA ENERGÍA

- 2.1. El proceso general de explotación de las fuentes energéticas a partir de la energía primaria y la energía disponible.
- 2.2. Transformación de energía no renovable en energía primaria: el caso del petróleo.
- 2.3. Transformaciones de la energía primaria.

- 2.4. Transporte de la energía. Sistema de Vectores energéticos.
- 2.5. Centrales energéticas.
- 2.6. Análisis técnico del uso de la energía respecto a la producción-demanda.
- 2.7. Almacenamiento de la energía.
- 2.8. Rendimiento de las transformaciones energéticas.
- 2.9. Tecnologías híbridas.
- 2.10. Conclusiones.

3. ASPECTOS ECONÓMICOS Y MEDIOAMBIENTALES DEL USO DE LA ENERGÍA

- 3.1. Repercusiones sobre la biosfera a causa de la explotación de las actuales fuentes energéticas.
- 3.2. La contaminación y sus consecuencias.
- 3.3. El calentamiento global: sus causas y consecuencias.
- 3.4. La contaminación radiactiva.
- 3.5. Otras formas de impacto sobre el medio ambiente.
- 3.6. Impacto de las energías renovables en el medio ambiente.
- 3.7. Impacto social y económico de los sistemas de energías renovables.
- 3.8. Energía y Desarrollo sostenible.
- 3.9. Protocolo de Kioto y otras iniciativas.
- 3.10. Los costes de la implementación de la energía.
- 3.11. Conclusiones.

4. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

- 4.1. Origen de la energía solar térmica.
- 4.2. Principales usos de la energía solar térmica.
- 4.3. Potencial de la energía solar térmica.
- 4.4. Uso de las tecnologías en la energía solar térmica.
- 4.5. Centrales solares térmicas.
- 4.6. Aplicaciones de la energía solar térmica.
- 4.7. Costos de la energía solar térmica.
- 4.8. Desarrollo y avance de la energía solar térmica en Colombia.
- 4.9. Impacto medioambiental por utilizar la energía solar térmica.
- 4.10. Conclusiones.

5. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

- 5.1. Origen de la energía solar fotovoltaica.
- 5.2. Principales usos de la energía solar fotovoltaica.
- 5.3. Potencial de la energía solar fotovoltaica.
- 5.4. Tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica.
- 5.5. Centrales solares fotovoltaicas.
- 5.6. Costos de la energía solar fotovoltaica.
- 5.7. Desarrollo y avance de la energía solar fotovoltaica en Colombia.
- 5.8. Impacto medioambiental por utilizar la energía solar fotovoltaica.
- 5.9. Conclusiones.

6. ENERGÍA EÓLICA

- 6.1. El viento.
- 6.2. Potencial del viento.
- 6.3. Velocidad del viento en Colombia.
- 6.4. Medición del viento.
- 6.5. Distribución de frecuencia.
- 6.6. Ley exponencial de Hellmann.
- 6.7. Potencial eólico en Colombia.
- 6.8. Aprovechamiento de la energía eólica.
- 6.9. Aerogeneradores
- 6.10. Generador asíncrono.
- 6.11. Generador síncrono.
- 6.12. Generadores acoplados directamente a la red.
- 6.13. Subsistemas de orientación.
- 6.14. Subsistemas de soporte.
- 6.15. Control de los aerogeneradores.
- 6.16. Costo de la energía eólica.
- 6.17. Impacto ambiental del uso de la energía eólica.
- 6.18. Futuro de la energía eólica.
- 6.19. Conclusiones.

7. ENERGÍA HIDRÁULICA

- 7.1. Historia de la energía hidráulica.

- 7.2. Desarrollo de la energía hidroeléctrica.
- 7.3. Centrales Hidroeléctricas.
- 7.4. Tecnología. Subsistemas de las centrales hidroeléctricas.
- 7.5. Estado del recurso hídrico en el mundo.
- 7.6. Centrales hidroeléctricas más grandes del mundo.
- 7.7. Estimación de los costos de los proyectos hidroeléctricos.
- 7.8. Impacto sobre el medio ambiente de la energía hidráulica.
- 7.9. El potencial hidroeléctrico de América Latina.
- 7.10. Ventajas y desventajas de la energía hidráulica.
- 7.11. Energía hidráulica en Colombia.
- 7.12. ISAGEN.
- 7.13. Central hidroeléctrica de San Carlos.
- 7.14. Proyecto central hidroeléctrica de Sogamoso.
- 7.15. Conclusiones.

8. ENERGÍA DE LA BIOMASA

- 8.1. Biomasa.
- 8.2. Combustión.
- 8.3. Gasificación.
- 8.4. Pirolisis.
- 8.5. Proceso bioquímico.
- 8.6. Procesos anaeróbicos.
- 8.7. Proceso de producción de biogás.
- 8.8. Procesos aeróbicos.
- 8.9. Clasificación de la biomasa.
- 8.10. Aprovechamiento de la biomasa.
- 8.11. La biomasa en Colombia.
- 8.12. Aplicaciones de la energía de la biomasa en Colombia.
- 8.13. Aplicaciones de la energía de la biomasa.
- 8.14. Ventajas y desventajas de la energía de la biomasa.
- 8.15. Presente y futuro de la energía de la biomasa.
- 8.16. Conclusiones.

9. ENERGÍA GEOTÉRMICA

- 9.1. Definición de la energía geotérmica.

- 9.2. Gradiente térmico de la Tierra.
- 9.3. Flujo de calor anormal o yacimientos geotérmicos.
- 9.4. Formación de acuíferos y zonas hidrotermales.
- 9.5. Potencial de la energía geotérmica en el mundo.
- 9.6. Formas de aprovechamiento de la energía geotérmica.
- 9.7. Costos de la energía geotérmica.
- 9.8. Ventajas y desventajas de la energía geotérmica.
- 9.9. Energía geotérmica en el mundo.
- 9.10. Energía geotérmica en Colombia.
- 9.11. Proyecto geotérmico en el nevado del Ruiz.
- 9.12. Conclusiones.

10. ENERGÍA DE MAREOMOTRIZ Y MAREOMOTÉRMICA

- 10.1. Origen de la energía mareomotriz.
- 10.2. Potencial de la energía de las mareas.
- 10.3. Métodos de extracción de la energía de las mareas.
- 10.4. Tecnologías para aprovechar la energía de mareomotriz.
- 10.5. Diferentes dispositivos de generación de energía mareomotriz.
- 10.6. Energía mareomotriz dinámica.
- 10.7. Tecnologías utilizadas en las centrales.
- 10.8. Costos del uso de la energía mareomotriz.
- 10.9. Energía mareomotriz en Colombia.
- 10.10. Impacto que tiene al utilizar la energía de las mareas en el medio ambiente.
- 10.11. Situación actual, frente a la explotación de la energía de las mareas.
- 10.12. Desarrollo de la energía mareomotriz.
- 10.13. Situación actual y las perspectivas de futuro de esta fuente energética renovable.
- 10.14. Conclusiones.

11. ENERGÍA DE LAS OLAS

- 11.1. Origen de las energías de las olas.
- 11.2. Potencial de la energía de las olas.
- 11.3. Tecnología de aprovechamiento.
- 11.4. Explotación de la energía de las olas.
- 11.5. Impacto ambiental.

11.6. Conclusiones.

12. VIABILIDAD DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN COLOMBIA

12.1. Viabilidad jurídica, técnica y económica de las energías renovables en Colombia.

12.2. Conclusiones.

2.3. Planeación de las sesiones.

Se llama sesión a las reuniones periódicas que se realizan durante la ejecución del seminario; allí cada tema se desarrolla en subtemas a través de exposiciones y discusiones constructivas cumpliendo la finalidad del seminario Alemán.

La planificación consta de:

1. Determinación del número de sesiones.
2. Asignación de temas y subtemas de cada sesión.
3. Asignación de roles.
4. Definir tiempos de preparación de cada sesión por parte de los participantes.
5. Diagrama de fechas en las que se celebrarán las sesiones.
6. Definir el tiempo y lugar de cada sesión.

En el caso seminario de investigación en energías alternativas con un enfoque hacia el avance y desarrollo tecnológico actual en Colombia, se definieron 8 sesiones abarcando los principales temas de interés. Además se cumplió con la asignación de roles según lo establecido por la vicerrectoría Académica Universidad Industrial de Santander en los lineamientos para el seminario de investigación como modalidad para el desarrollo del trabajo de grado. La asignación de roles se muestra en la tabla 1

Tabla 1 Asignación de roles en la ejecución del seminario

| SESIÓN | Relator | Correlator | Protocolante | Asistentes |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--|
| 1. Conceptos y Aspectos generales sobre los recursos energéticos | Daniel Snmelinger Chacón Ramírez | Jairo Luis Rodríguez Acevedo | Marlon Fabián Ropero Pineda | Yeisson Leandro Sánchez Gallo y Ricardo Andrés Sanabria Romero |
| 2. Aspectos básicos generales sobre las tecnologías para la explotación de la energía. | Jairo Luis Rodríguez Acevedo | Marlon Fabián Ropero Pineda | Ricardo Andrés Sanabria Romero | Daniel Snmelinger Chacón Ramírez y Yeisson Leandro Sánchez Gallo |
| 3. Aspectos económicos y medioambientales del uso de la energía. | Marlon Fabián Ropero Pineda | Daniel Snmelinger Chacón Ramírez | Yeisson Leandro Sánchez Gallo | Jairo Luis Rodríguez Acevedo y Ricardo Andrés Sanabria Romero |
| 4. Energía Solar: Térmica y Fotovoltaica. | Ricardo Andrés Sanabria Romero | Marlon Fabián Ropero Pineda | Jairo Luis Rodríguez Acevedo | Daniel Snmelinger Chacón Ramírez y Yeisson Leandro Sánchez Gallo |
| 5. Energía Eólica. | Daniel Snmelinger Chacón Ramírez | Yeisson Leandro Sánchez Gallo | Jairo Luis Rodríguez Acevedo | Ricardo Andrés Sanabria Romero y Marlon Fabián Ropero Pineda |
| 6. Energía Hidráulica. | Jairo Luis Rodríguez Acevedo | Daniel Snmelinger Chacón Ramírez | Yeisson Leandro Sánchez Gallo | Ricardo Andrés Sanabria Romero y Marlon Fabián Ropero Pineda |
| 7. Energía de la Biomasa | Marlon Fabián Ropero Pineda | Daniel Snmelinger Chacón Ramírez | Jairo Luis Rodríguez Acevedo | Yeisson Leandro Sánchez Gallo y Ricardo Andrés Sanabria Romero |
| 8. Energía Geotérmica y Mareomotriz | Yeisson Leandro Sánchez Gallo | Daniel Snmelinger Chacón Ramírez | Ricardo Andrés Sanabria Romero | Marlon Fabián Ropero Pineda y Jairo Luis Rodríguez Acevedo |

3. EJECUCIÓN

3.1. Documentación para los temas.

El relator de cada sesión elaboró un documento con normas técnicas y metodología científica correspondiente a su investigación, el cual debe ser revisado y aprobado por el director. Los participantes del seminario previo a cada una de las sesiones e indiferentemente del rol que desempeñaron, estudiaron los temas correspondientes a cada sesión con el fin propósito de participar y aportar al desarrollo de la sesión.

3.2. Desarrollo de una sesión.

Las sesiones del seminario a excepción de la primera por no tener antecesora se desarrollan de manera fluida siguiendo el orden de las actividades. En la figura 1. Se muestra el proceso de desarrollo de una sesión del seminario de investigación.

Figura 1 Desarrollo de una sesión del seminario de investigación

| ACTIVIDAD | DESCRIPCION | RESPONSABLE |
|------------------------|--|---|
| Apertura de la sesión | Lectura del plan de trabajo. Verificación de la asistencia. Confirmación o asignación de roles. Asignación de los roles para la próxima sesión. | Profesor (director) |
| Lectura del protocolo. | Lectura del protocolo. Se abre una sesión de preguntas aclaratorias del texto del protocolo. Los ajustes quedaran consignados en el protocolo siguiente. | Protocolante. |
| Relatoria | Exposición del tema. Entrega del trabajo escrito. | Relator |
| Correlatoria | Se complementa y evalúa la relatoria. Se induce a la discusión. | Correlator |
| Discusión | <ul style="list-style-type: none">• Se realizan preguntas, intervenciones y aclaraciones sobre el tema.• Se valida el conocimiento demostrado por el relator. | Todos los participantes |
| Conclusión | Evaluación de la sesión. Síntesis del trabajo. Redacción del protocolo. Aprobación de la síntesis y el protocolo | Participantes director protocolante |

Fuente: El seminario investigativo - El seminario como practica pedagógica para la formación integral, Néstor H. Bravo Salinas.

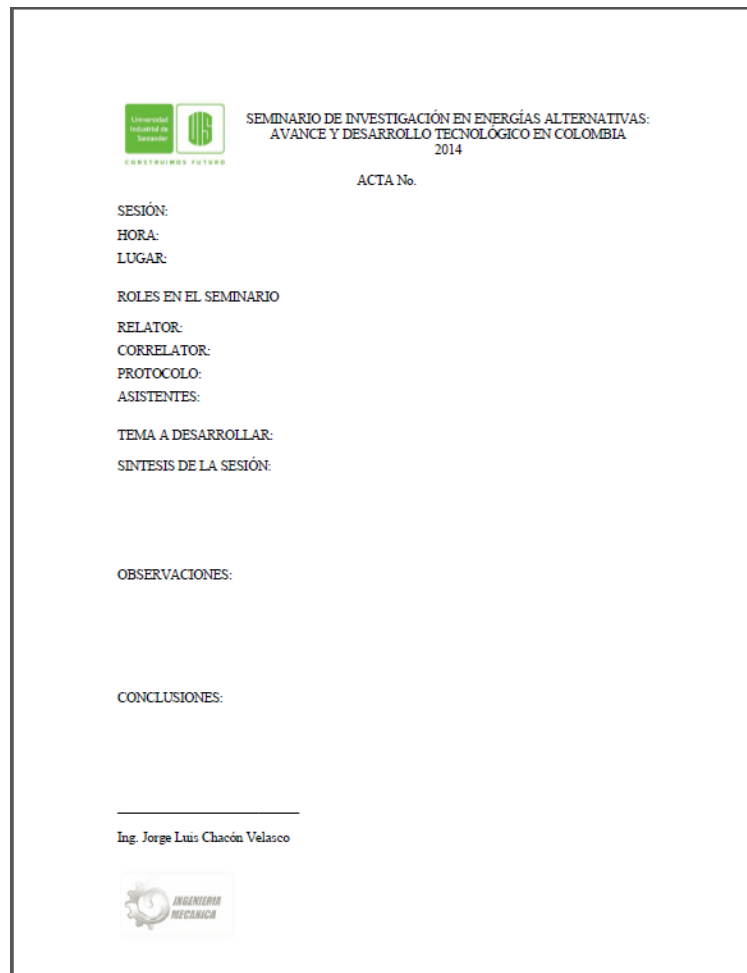
3.3. Acta.

Se conoce como acta a un documento escrito producto de cada sesión donde se estipula la síntesis del tema de la reunión, fecha, hora y lugar, además de los diferentes roles que cumple cada uno de los participantes. Se registra los puntos clave de la exposición y la discusión, observaciones y correcciones por parte del director.

Se muestra un formato modelo de acta diseñado para este seminario:

Figura 2. Formato del acta

Un seminario de investigación en energías alternativas con un enfoque hacia el avance y desarrollo tecnológico actual en Colombia



The image shows a template for a meeting minutes document. At the top left is the logo of the Universidad Industrial de Santander, featuring a green square with a white grid and the text 'Universidad Industrial de Santander' and 'CONSTRUIMOS FUTURO'. To the right of the logo is the title 'SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍAS ALTERNATIVAS: AVANCE Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN COLOMBIA 2014'. Below the title is the text 'ACTA No.' followed by a blank space for a number. The main body of the form contains several sections with labels: 'SESIÓN:', 'HORA:', 'LUGAR:', 'ROLES EN EL SEMINARIO', 'RELATOR:', 'CORRELATOR:', 'PROTOCOLO:', 'ASISTENTES:', 'TEMA A DESARROLLAR:', 'SINTESIS DE LA SESIÓN:', 'OBSERVACIONES:', and 'CONCLUSIONES:'. At the bottom left, there is a signature line with the name 'Ing. Jorge Luis Chacón Velasco' and a logo for 'INGENIERIA MECANICA' featuring a gear and a lightbulb.

4. DOCUMENTOS FINALES.

El producto final del seminario de investigación en energías alternativas: con un enfoque hacia el avance y desarrollo tecnológico actual en Colombia consta de una serie de documentos estructurados que se recopilaron a través de la ejecución del proyecto y son resumidos en el presente libro tesis.

Estos documentos son:

1. Libro de memorias: Está conformado por la investigación recopilada en los documentos elaborados y expuesta en cada una de las sesiones por los participantes del Seminario a través del desarrollo del mismo.
2. Presentaciones: Aquella ayuda audiovisual usada por los participantes del seminario en la celebración de cada sesión.
3. Recopilación de artículos científicos, documentos, revistas, periódicos y videos.

4.1. Libro síntesis original.

El libro síntesis original fue titulado: "SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍAS ALTERNATIVAS: AVANCE Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN COLOMBIA" recopila la investigación realizada por cada participante y contiene la misma estructura del trabajo. El diseño y estilo del libro está diseñado para dar al lector un fácil entendimiento del tema. Está conformado por 17 capítulos ordenados de tal forma que exista un desarrollo conectivo entre ellos.

Fue elaborado en Microsoft Office Word 2013, procesador de texto amigable, versátil y sencillo.

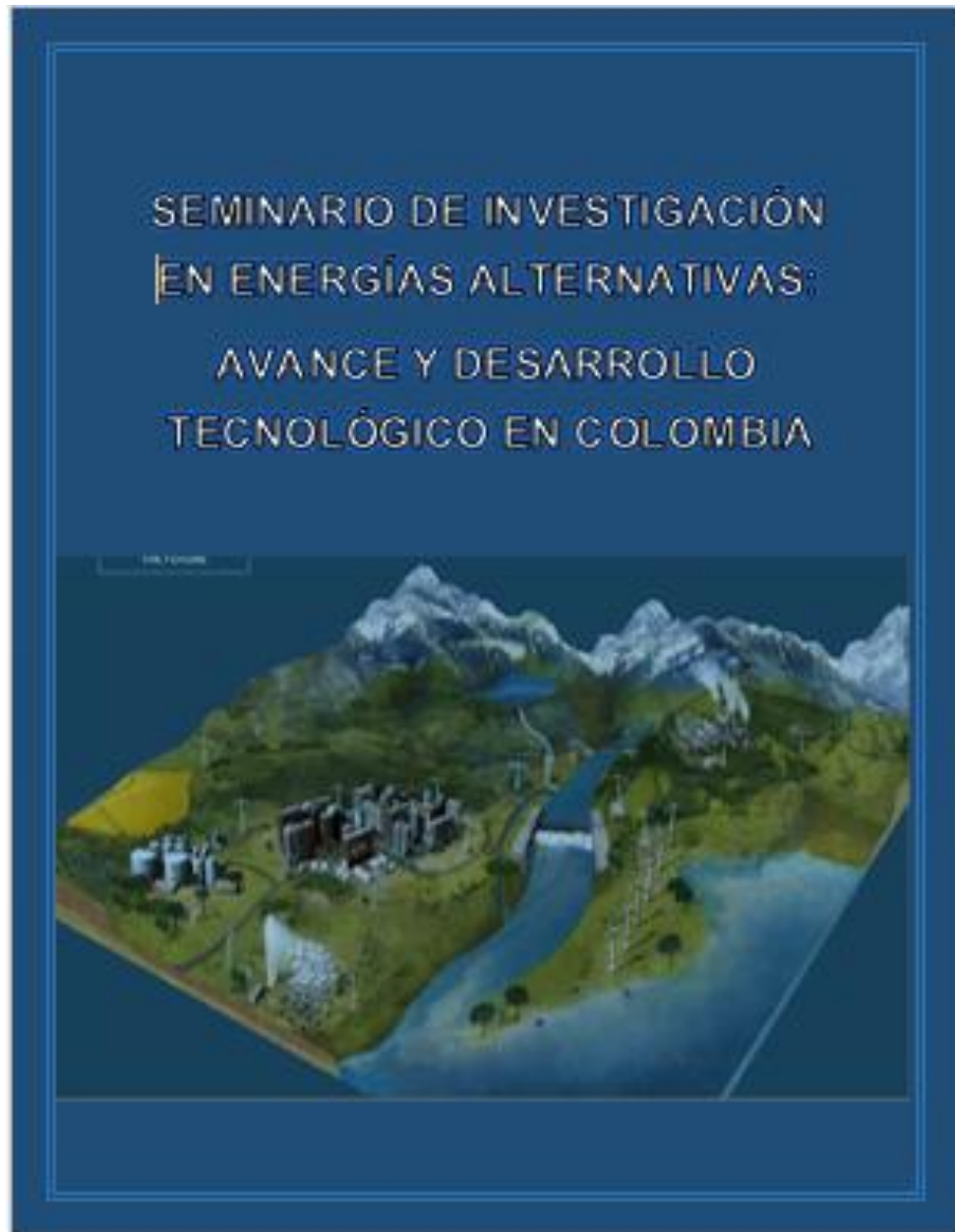
Se hace uso del logo de la escuela de ingeniería mecánica y de la UIS para tener identidad de las instituciones y departamentos involucrados en el seminario.

Este documento está disponible en la escuela de Ingeniería Mecánica.

En la figura 3. Puede observarse su carátula.

Figura 3 Carátula del libro síntesis

SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍAS ALTERNATIVAS: AVANCE Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN COLOMBIA.



4.2. Presentaciones.

Las presentaciones son el apoyo audiovisual usado por los participantes durante las sesiones para desarrollar el tema de manera didáctica y fluida. Las transparencias están caracterizadas por imágenes y tabla, minimizando el uso de textos en las mismas. Estas fueron elaboradas en Microsoft Office Power Point.

Las presentaciones de cada sesión se encuentran estructuradas de la siguiente manera:

1. Portada.
2. Contenido.
3. Contextualización y desarrollo del tema.

A continuación se muestra un ejemplo de las transparencias usadas en una de las sesiones.

Figura 4 Portada



Figura 5 Contextualización del tema



4.3. Recopilación de documentos.

La recopilación de artículos científicos y documentos hacen parte del sustento argumentativo del Seminario, estos quedan en el cd anexo y corresponden a cada uno de los temas tratados.

BIBLIOGRAFÍA SOBRE EL SEMINARIO ALEMÁN

[1] Delors Jaques, La educación encierra un tesoro. Informe a la UNESCO de la comisión internacional sobre la educación para el siglo XXI. París 1996.

SECCIÓN 2.

ENERGÍAS ALTERNATIVAS: AVANCE Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN COLOMBIA.

5. ASPECTOS GENERALES SOBRE LOS RECURSOS ENERGETICOS

5.1. Introducción.

En los últimos años las fuentes de energías renovables están teniendo un gran auge en todo el mundo, gracias a su capacidad de proporcionar en gran medida, energía limpia, la cual es de gran importancia para la vida humana en la actualidad, y para su futuro en el planeta. Actualmente los combustibles fósiles representan un gran problema para la sociedad, no solo por la contaminación que generan, sino por la escasez de fuentes energéticas a la que se está llegando.

El crecimiento y el desarrollo acelerado de la población mundial, ha creado una gran demanda de energía, trayendo como consecuencia un aumento en el consumo de los combustibles fósiles. Esta gran demanda debe ser soportada por los recursos energéticos disponibles, la cual en gran medida está basada por los combustibles fósiles. La búsqueda de nuevas fuentes de energía, que sustituyan o que amortigüen esta demanda que tiene el petróleo, está siendo seriamente considerada en todo el mundo.

El desarrollo de nuevas fuentes de energía depende de los recursos energéticos disponibles. A nivel mundial, existen países que están tomando ventaja y están implementando sistemas de generación de energía a partir de recursos renovables, incluso con porcentajes de consumo actuales que sobrepasan los de los combustibles fósiles. En Colombia existe un gran potencial para el desarrollo de energías renovables, con proyectos en ejecución y con otros posibles proyectos financiados por el gobierno nacional y por instituciones internacionales.

En este capítulo se presentará la situación actual de cada recurso energético renovable tanto global como a nivel de Colombia. Se tratarán temas específicos de

cada energía como su origen, el potencial energético, formas de aprovechamiento, producción, consumo, duración prevista, entre otros.

5.2. Objetivos.

- ✓ Definir los conceptos de energía, trabajo y potencia.
- ✓ Estudiar la disponibilidad de los todos los recursos energéticos que existen en la Tierra, incluyendo la situación actual de los combustibles fósiles como el petróleo, el gas natural y el carbón.
- ✓ Diferenciar los conceptos de energía primaria y energía disponible, así como los conceptos de recurso y reserva.
- ✓ Caracterizar y puntualizar cada recurso energético disponible
- ✓ Visualizar la importancia y la proyección de las energías renovables como energías del futuro.

5.3. Recursos energéticos de la Tierra. Energía, trabajo y potencia.

Para empezar el estudio y el análisis de la energía, se deben establecer los conceptos básicos de energía, trabajo y potencia, así como las unidades de medición de cada concepto. También es necesario especificar todas las formas en las que la energía se manifiesta.

✓ Energía

Dependiendo del ámbito, la energía puede ser definida de diversas formas. Existen contextos en los cuales su definición es relativa, por ejemplo, se puede decir que una persona puede tener “energía positiva” o “energía negativa” de acuerdo en el estado de ánimo en el que se encuentre. También puede hacerse relación a que una persona es muy “enérgica” y se refiere a que ésta tiene un gran potencial para desarrollar alguna actividad. En general, la energía ha adquirido muchas definiciones ya que este concepto es abstracto, es decir, no es un estado físico real, y por lo tanto es algo misterioso, solo percibimos sus efectos, y desconocemos su origen y naturaleza.

En física, la energía es una “propiedad” que poseen los cuerpos, la cual tiene la capacidad de producir transformaciones en ellos, ya sea para sí mismo o para su entorno. De acuerdo a esto, la energía básicamente se define como la **capacidad que tienen los cuerpos para producir trabajo**. Este trabajo se puede manifestar en trabajo mecánico, emisión de luz, generación de calor, etc.

La unidad de energía en el Sistema Internacional es el **Julio**, el cual es el trabajo realizado por una fuerza de un Newton en un desplazamiento de un metro en dirección de la fuerza, es decir, equivale a multiplicar un Newton por un Metro:

$$1 \text{ Julio} = 1 \text{ N} * 1 \text{ m} = 1 \frac{\text{kg} * \text{m}}{\text{s}^2} * \text{m} = 1 \frac{\text{kg} * \text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Existen otras unidades de medida de la energía, representadas en la tabla 2, algunas en desuso:

Tabla 2 Unidades de medida de la energía

| Nombre: | Abreviatura de la Unidad | Equivalencia en Julios |
|----------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| Caloría | cal | 4,1855 |
| Frigoría | fg | 4185,5 |
| Termia | th | 4185500 |
| Kilovatio hora | kWh | 3600000 |
| Caloría grande | Cal | 4185,5 |
| Tonelada equivalente de petróleo | Tep | 41840000000 |
| Tonelada equivalente de carbón | Tec | 29300000000 |
| Electronvoltio | eV | $1,602176462 \times 10^{-19}$ |
| British Thermal Unit | BTU o BTu | 1055,05585 |
| Caballo de vapor por hora | CVh | $3,777154675 \times 10^{-7}$ |
| Ergio | erg | 1×10^{-7} |
| Pie por libra (Foot pound) | ft x lb | 1,35581795 |
| Foot-poundal | ft x pdl | $4,214011001 \times 10^{-11}$ |

Fuente: Disponible en internet: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Energía>>

✓ Trabajo

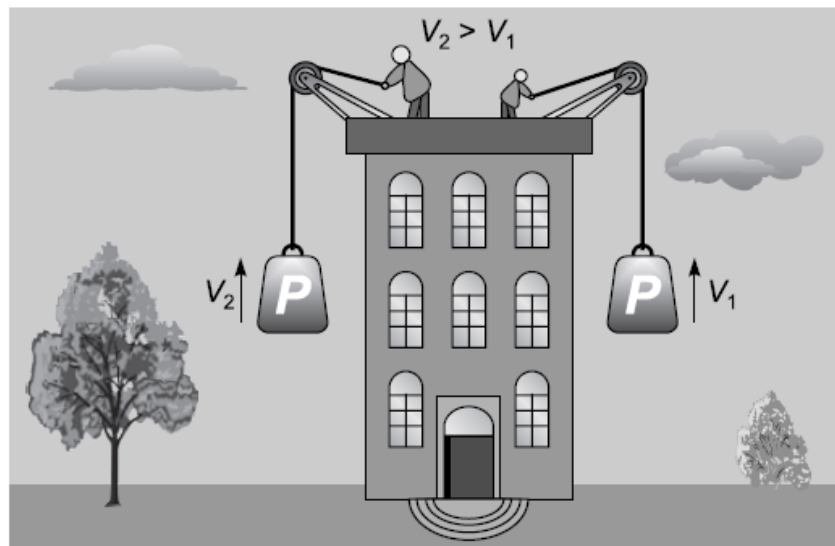
El Trabajo se define como el producto escalar de una fuerza por un desplazamiento (del punto de aplicación de la fuerza):

$$T = \vec{F} \cdot \vec{\Delta S}$$

La unidad de medición del trabajo también es el **Julio**.

Existe una concepción errónea entre los términos de energía y trabajo. Se piensa que la energía se transforma en trabajo, pero esto no es así. Por ejemplo, en la figura 6 se realiza un trabajo sobre la masa m al elevarla una altura h , pero energéticamente lo que se ha hecho es transferir la energía desde los músculos de la persona a energía potencial ($E_p=mgh$). Es decir, **el trabajo es un proceso mediante el cual dos sistemas intercambian energía**. El trabajo no es una forma de energía, ni se conserva, ni es propio de un sistema.

Figura 6 Trabajo realizado sobre una masa m



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías Renovables [3].

✓ Potencia

Físicamente la potencia se define como el *trabajo realizado en la unidad de tiempo*:

$$W = \frac{T}{t}$$

La unidad de medida de la Potencia es el Vatio o Watt (W) definido por: 1 vatio = 1 julio / 1 segundo. La unidad de medición del consumo eléctrico es el Wh (vatio-hora) o el kWh (kilovatio-hora) que son unidades de energía expresada en términos de *potencia x tiempo*. Un vatio-hora es la energía necesaria para mantener una potencia constante de un vatio durante una hora, y equivale a 3600 julios.

$$1 kWh = \frac{1000 J}{1s} * 3600 s = 3600000 J$$

5.4. Formas de la energía.

La energía se manifiesta de distintas formas: gravitatoria, cinética, química, eléctrica, magnética, nuclear, radiante, entre otras, con la posibilidad de transformación entre los diferentes tipos, garantizado por el principio de la conservación de la energía, el cual dice **que la energía no se crea, ni se destruye, solo se transforma.**

A continuación se especificaran brevemente cada uno de los tipos de energías:

- ✓ Energía Gravitacional: Se manifiesta por la atracción de dos masas entre sí que están a una distancia determinada. La fuerza con la que se atraen es directamente proporcional al producto de las masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas:

$$F = G \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{r^2}$$

Donde;

$$G = \text{Constante de Gravitación Universal} = 6.67428 \times 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$$

$$M_1 = \text{Masa del cuerpo 1 en kg}$$

$M_2 = \text{Masa del cuerpo 2 en kg}$

$r = \text{Distancia de separación entre las masas}$

En la Tierra, **la energía potencial gravitatoria** de un cuerpo de masa m en kg, situado a una altura h en metros, sobre la superficie terrestre es:

$\text{Energía} = \text{fuerza} \times \text{distancia}$

$\text{Energía potencial} = \text{peso} \times \text{altura} = m \cdot g \cdot h$

- ✓ **Energía cinética:** Es la energía implícita de una masa en movimiento. Para una masa m , que se desplaza con una velocidad v , la energía cinética vale la mitad del producto de la masa por el cuadrado de la velocidad:

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Donde,

$E_c = \text{Energía Cinética en Julios}$

$m = \text{masa en kg}$

$v = \text{velocidad en m/s}$

- ✓ **Energía electrostática:** Es la energía que se manifiesta debido a la fuerza de atracción o repulsión de dos cargas eléctricas entre sí:

$$F = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

Donde,

$k = \text{constante electrostática que depende del medio}$

$q_1 = \text{carga 1 en Coulomb}$

$q_2 = \text{carga 2 en Coulomb}$

$r = \text{distancia de separación entre las cargas}$

- ✓ Energía electromagnética: Es la energía asociada a una carga eléctrica en movimiento. Una carga eléctrica en movimiento crea a su alrededor un campo electromagnético, que actúa no sólo sobre cargas eléctricas, sino también sobre imanes.
- ✓ Energía nuclear o energía atómica: Es la energía almacenada en los núcleos de los átomos, la que mantiene unidos a los protones y neutrones (fuerzas nucleares fuertes y débiles)

5.5. Principales energías aprovechables en la Tierra.

En la Tierra existe un constante flujo de energía, hacia dentro y hacia fuera de ella. Las principales fuentes energéticas de la tierra son: la **energía electromagnética**, proveniente del sol; la **energía gravitacional**, debida a la interacción gravitacional entre la Tierra, la luna y el sol; la **energía geotérmica o energía interna de la Tierra**, debido al calor interno de la Tierra evidenciado en el magma caliente; la **energía nuclear**, contenida en los núcleos de los átomos, todas estas energías representadas en la Figura 7a; y por último la **energía almacenada en la materia o energía de la biomasa**, en la cual, la energía de radiación solar es almacenada en las plantas mediante el proceso de fotosíntesis, y a su vez es transmitida a los organismos vivos en la cadena alimenticia a través de sus productos, incluyendo al hombre, representada en la Figura 7b.

Una derivación de la energía almacenada en la materia es la **energía de los combustibles fósiles**. La energía almacenada en la materia se libera a un ritmo constante igual al de su almacenamiento mediante el proceso de oxidación (combustión), pero en el proceso de formación de la Tierra, mucha de esta materia quedo enterrada bajo la corteza terrestre en condiciones de oxidación y de desintegración incompletas, junto con restos de plantas y animales muertos, por cientos de millones de años. Altísimas temperaturas y grandes presiones

comprimieron la materia orgánica, y la convirtieron en enormes depósitos de energía, actualmente conocidos como combustibles fósiles, tales como el carbón, petróleo, gas, pizarras bituminosas y arenas asfálticas.

Figura 7. Fuentes energéticas de la Tierra

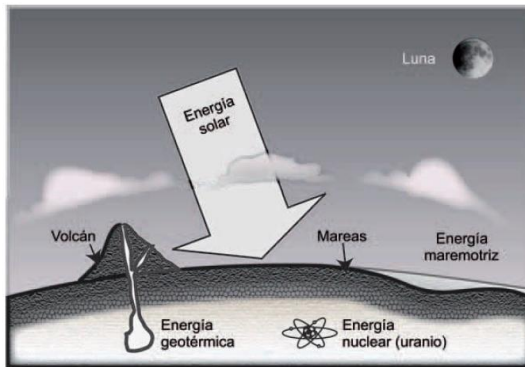


Figura 7a



Figura 7b

Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías Renovables. [26].

5.6. Clasificación de las fuentes de energía de la Tierra.

Los diferentes tipos de energías se pueden clasificar desde dos puntos de vista: **disponibilidad** y **utilización** de la energía.

De acuerdo a su disponibilidad, las fuentes de energía de la Tierra pueden clasificarse en **energías renovables** y **energías no renovables**:

- ✓ Energías renovables: Son aquellas cuyo potencial es inagotable, ya que provienen de la energía que llega a nuestro planeta de forma continua, como consecuencia de la radiación solar o de la atracción gravitatoria de la Luna. Son fundamentalmente la energía hidráulica, solar, eólica, biomasa, geotérmica y marina.
- ✓ Energías no renovables: Son aquellas que existen en la naturaleza en una cantidad limitada. No se renuevan a corto plazo y por eso su agotamiento es

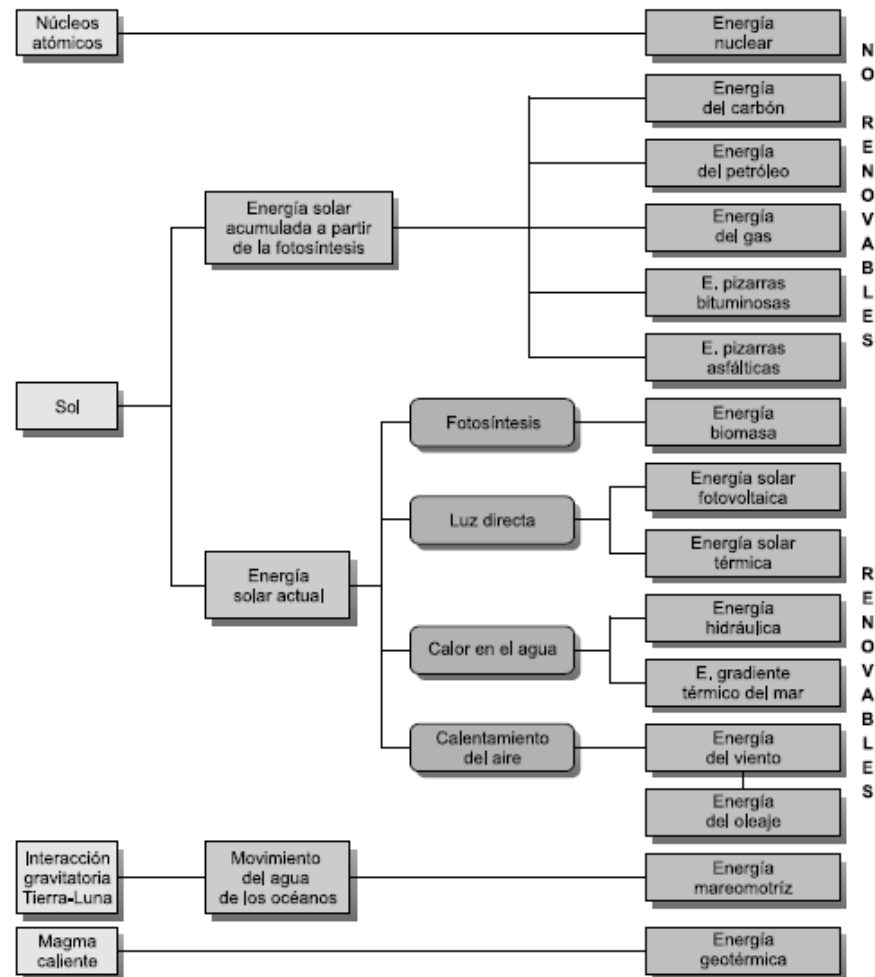
acelerado, su consumo sobrepasa su renovación. Las principales energías no renovables son las que derivan de los combustibles fósiles.

Desde el punto de vista de la utilización de la energía, la energía se clasifica en ***primaria, secundaria y útil***:

- ✓ Energía primaria: Se obtiene directamente de la naturaleza y corresponde a un tipo de energía almacenada o disponible, como por ejemplo el petróleo, el carbón, el gas natural, el uranio y las energías renovables.
- ✓ Energía secundaria: Se obtiene a partir de transformaciones de la energía primaria, por ejemplo la electricidad o la gasolina.
- ✓ Energía útil: Es la que obtiene el consumidor después de la última conversión realizada por sus propios equipos de demanda, como por ejemplo la energía mecánica de un motor, la energía luminosa de una bombilla, etc. Algunas energías primarias pueden pasar directamente a energía útil, sin una transformación previa.

En la Figura 8 se presenta un resumen de la clasificación de las fuentes energéticas de la Tierra en cuatro grupos principales anteriormente mencionados: Núcleos Atómicos (energía nuclear), Sol (energía solar directa e indirecta), gravitacional (interacción Tierra-Luna) y magma caliente (energía geotérmica). Además se muestran los grupos de energías renovables y no renovables:

Figura 8 Clasificación de las fuentes energéticas de la Tierra



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías Renovables. [28].

5.7. Recursos y reservas, análisis de la energía mundial, producción y consumo.

5.7.1. Recursos y Reservas

Para el estudio de la situación energética del mundo, hay que establecer dos conceptos fundamentales: **Recurso** y **Reserva**. Un recurso es una cantidad

conocida de una fuente energética, y una reserva, es una cantidad que puede ser técnica y económicamente rentable en cada instante, esto a su vez implica su disponibilidad, su extracción y su uso. Además las reservas se dividen en *comprobadas*, de las cuales se dispone información cierta de su existencia y volumen, y *no comprobadas*, que suministran información razonable a nivel ecológico y de ingeniería, es decir, en estas se tiene una estimación aproximada de la reserva. Las reservas como tales tienen sus límites, tanto a nivel económico como técnico, ya que no se garantiza que la energía obtenida sea superior a la energía invertida en su explotación.

5.7.2. Análisis de la energía mundial

Principales organizaciones para el estudio de la energía mundial

- ✓ IEA - International Energy Agency

La Agencia Internacional de la Energía, o IEA por sus siglas en inglés, es una organización internacional, creada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), o por sus siglas en inglés OECD (Organization for Economic Cooperation and Development), tras la crisis del petróleo de 1973. La IEA coordina las políticas energéticas de sus estados asociados.

La Agencia Internacional de la Energía tiene 29 estados asociados: Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Corea del Sur, Dinamarca, Eslovaquia, España, Estonia, Estados Unidos, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Japón, Luxemburgo, Nueva Zelanda, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia, Suiza y Turquía.

- ✓ OECD - Organization for Economic Co-operation and Development

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, u OECD por sus siglas en inglés, es una organización de cooperación internacional, fundada en 1960 y cuyo objetivo es enfrentar los desafíos económicos y sociales de la globalización. La OECD está conformada por 34 países: Canadá, Estados Unidos, Reino Unido, Dinamarca, Islandia, Noruega, Turquía, España, Portugal, Francia, Irlanda, Bélgica, Alemania, Grecia, Suecia, Suiza, Austria, Países Bajos, Luxemburgo, Italia, Japón, Finlandia, Australia, Nueva Zelanda, México, República Checa, Hungría, Polonia, Corea del Sur, Eslovaquia, Chile, Eslovenia, Israel y Estonia

✓ EIA – U.S. Energy Information Administration

La Administración de Información Energética de Estados Unidos, o EIA es el organismo de estadística y de análisis en el Departamento de Energía de los Estados Unidos. La EIA es la fuente principal de información sobre la energía de EE.UU. y recopila información sobre las diferentes fuentes de energía, usos finales y flujos de energía; además genera a corto y largo plazo las previsiones energéticas nacionales e internacionales, y realiza análisis informativos sobre la energía.

5.7.3. Estadísticas de la energía a nivel mundial

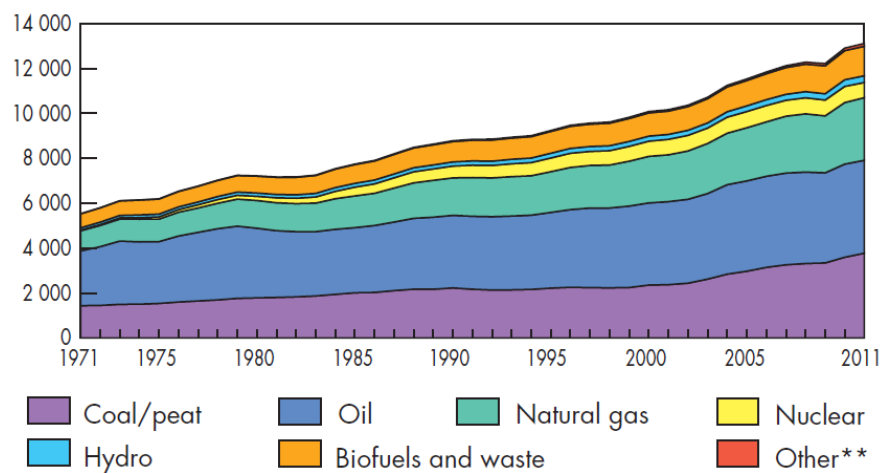
Para poder analizar el contexto global de la energía en la Tierra, este se debe realizar desde dos puntos de vista: **la demanda de energía mundial y el consumo de energía global**, además de esto se debe tener en cuenta las reservas de energía mundiales.

5.7.4. Demanda de energía mundial

La IEA utiliza un término para el análisis de la energía primaria el cual es llamado TPES (Total Primary Energy Supply) o suministro total de energía primaria. Este término es un Indicador de consumo de la IEA y mide la cantidad de energía que obtiene un país o el mundo durante un período de tiempo dado para su consumo,

ya sea en uso final o en centros de transformación. Este término es medido en millones de toneladas equivalentes de petróleo (MTEP) o MTOE (Million Tonnes of Oil Equivalent) por sus siglas en inglés; una Tonelada Equivalente de Petróleo equivale a 41.868 Gigajulios. En la figura 9 se presenta la demanda mundial de energía primaria desde el año 1971 hasta el año 2011. En esta figura el color rojo representa energías como la geotérmica, solar, eólica, calórica, etc

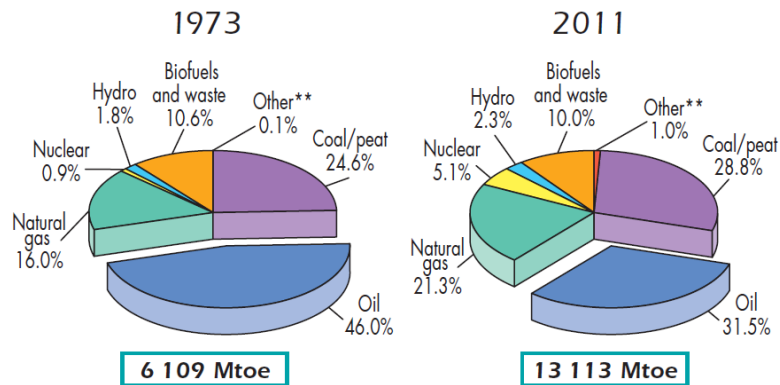
Figura 9 Demanda mundial de energía



Fuente: Disponible en internet: <International Energy Agency. 2013. Key World Energy Statistics. Total Primary Energy Supply.>

A continuación se presenta en la figura 10 la comparación de la demanda de energía mundial de los años 1973 y 2011, y en la cual se evidencia la gran demanda que tienen los combustibles fósiles en comparación con las demás fuentes energéticas con un demanda del 80%, y además se puede resaltar el crecimiento significado de energías como la nuclear, la hidráulica y otras como la solar, eólica, geotérmica, entre otras.

Figura 10 Comparación de la demanda de energía

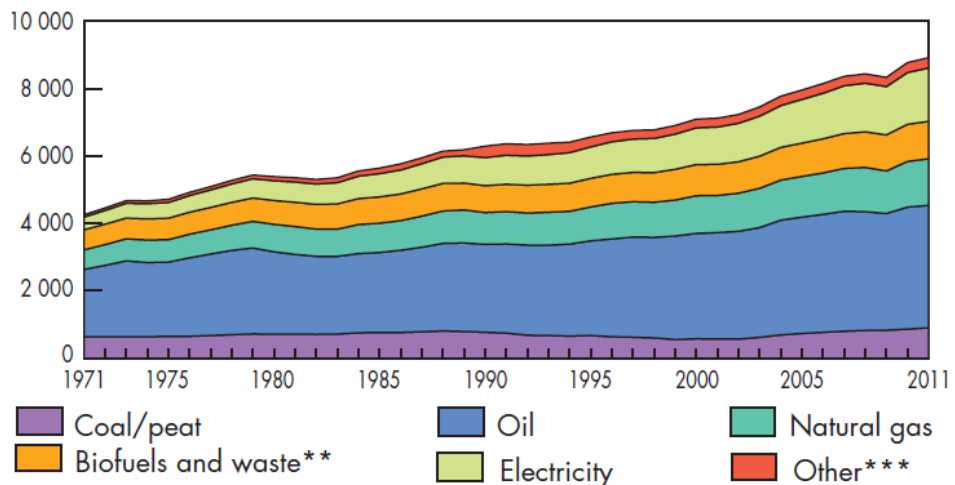


Fuente: Disponible en internet: <International Energy Agency. 2013. Key World Energy Statistics>

5.7.5. Consumo mundial de energía.

El consumo mundial de energía cada vez se incrementa más pero siempre se ha mantenido un mayor consumo en lo que respecta a los combustibles fósiles, el consumo va en aumento y esto se debe principalmente al crecimiento poblacional de la Tierra. En la figura 11 se muestra el consumo mundial de energía entre los años 1971 y 2011 medido en Millones de Toneladas Equivalentes de Petróleo.

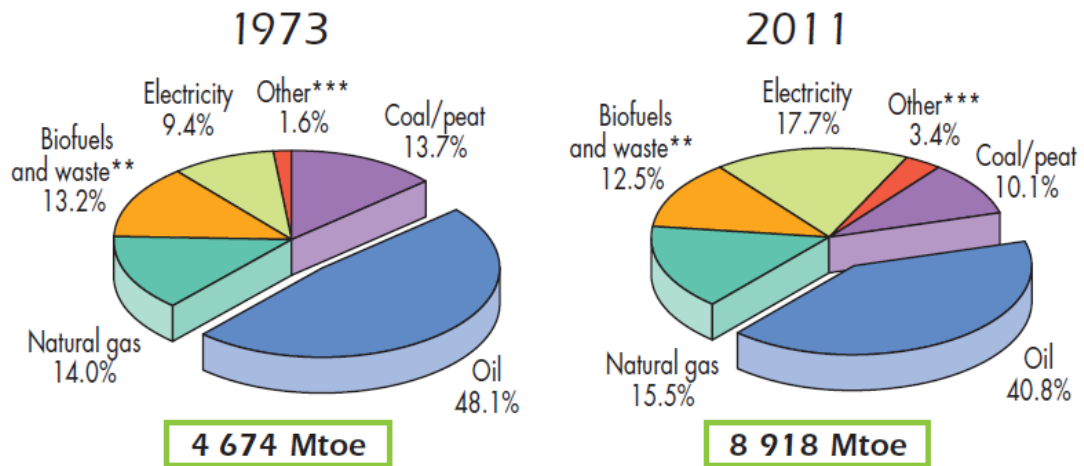
Figura 11 Consumo mundial de energía



Fuente: Disponible en internet: <International Energy Agency. 2013. Key World Energy Statistics. Total Final Consumption>

A continuación la IEA también nos muestra una comparación entre el consumo de energía mundial de los años 1973 y 2011. En la figura 12 se puede apreciar el consumo de energía mundial del año 1973 y del año 2011, y se observa que el consumo más grande sigue siendo el que representa los combustibles fósiles, pero en comparación con el año 1973 en el 2011 se disminuyó el consumo del petróleo y del carbón; el consumo de gas natural aumentó 1.5% con respecto a 1973. También se puede apreciar la disminución de los biocombustibles en 0.7% y el aumento considerable del consumo de electricidad de 9.4% en 1973 a 17.7% en el 2011. Otras energías como son la energía solar, eólica, geotérmica entre otras, aumentaron 2.8%.

Figura 12 Comparación del consumo de energía mundial

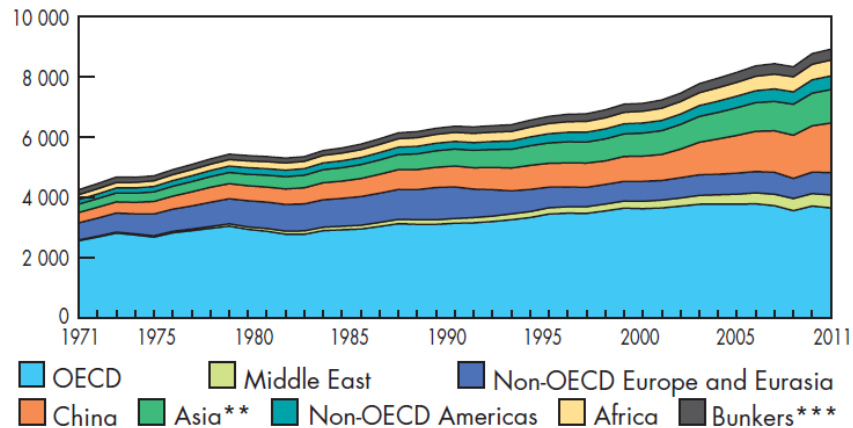


Fuente: Disponible en internet: <International Energy Agency. 2013. Key World Energy Statistics>

La IEA también presenta en sus estadísticas un análisis por región, las cuales están compuestas por los países que integran la OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) y los que no la integran, o países Non-OECD. En la figura 13 se muestra el consumo de energía mundial por región en el cual se

evidencia que el mayor consumo lo tienen los países que integran la OECD seguido por China y los países asiáticos.

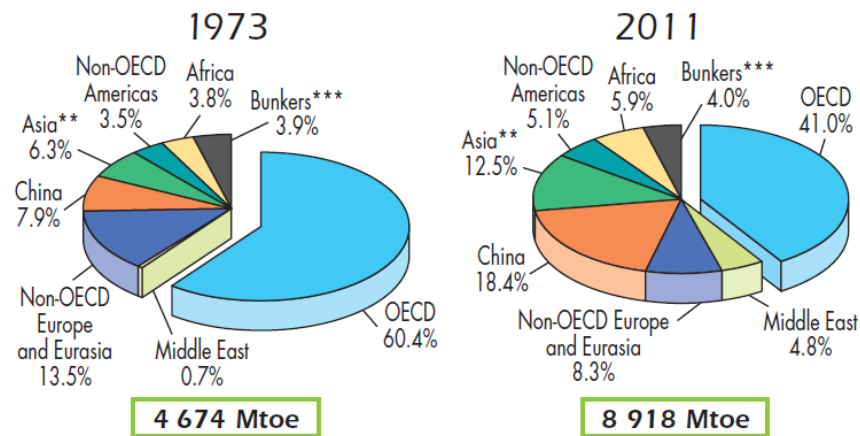
Figura 13 Consumo de energía mundial por región



Fuente: Disponible en internet: <International Energy Agency. 2013. Key World Energy Statistics. Total Final Consumption.by Region>

En la figura 14 la IEA también nos muestra el consumo mundial de energía por región de los años 1973 y 2011. En esta figura se puede observar que los países que integran la OECD tienen el mayor consumo, pero también países como China y los países asiáticos han incrementado su consumo debido a que en esta región se presenta el mayor crecimiento poblacional de la Tierra. En el 2011 los países americanos que no integran la OECD tuvieron un consumo de energía del 5.1% con respecto al total.

Figura 14 Consumo de energía mundial por región



Fuente: Disponible en internet: <International Energy Agency. 2013. Key World Energy Statistics.>

5.7.6. Reservas mundiales de los combustibles fósiles.

✓ Reservas mundiales de petróleo

El petróleo es la fuente principal de energía mundial y como tal, se tiene una estimación de que existen aproximadamente unas reservas comprobadas de 1300×10^3 millones de barriles de petróleo, y estas reservas probadas tiene un tiempo estimado de duración de 41 años. El 95% de estas reservas probadas se localizan en sólo 20 países, la mayor parte de estos en regiones conflictivas como Medio Oriente (este contiene la tercera parte de las reservas), Rusia y los países de la antigua URSS y América Latina. Según la EIA el consumo mundial de petróleo y otros combustibles líquidos para el año 2010 fue de 87 millones de barriles por día, y este se incrementará aproximadamente a 97 millones de barriles por día para el año 2020, y 115 millones de barriles por día para el año 2040.

En la figura 15 se muestran las reservas comprobadas de petróleo por países hasta el día 01 de enero de 2013. Las reservas están medidas en miles de millones de barriles. Cabe destacar que recientes exploraciones en Venezuela, han dado lugar al descubrimiento de nuevas reservas comprobadas de petróleo, y que la posicionan como el mayor país con reservas comprobadas de petróleo según la IEA. Según la

web Wikipedia.org, Colombia tenía unas reservas comprobadas de petróleo de 1.200.000.000 barriles en el año 2010 y se ubicaba en el puesto 35 en el ranking mundial.

Figura 15 Reservas comprobadas de petróleo por países
Hasta el 01 de Enero de 2013. Miles de millones de barriles.

| Country | Oil reserves | Percent of world total |
|----------------------|----------------|------------------------|
| Venezuela | 297.6 | 18.2 |
| Saudi Arabia | 265.4 | 16.2 |
| Canada | 173.1 | 10.6 |
| Iran | 154.6 | 9.4 |
| Iraq | 141.4 | 8.6 |
| Kuwait | 101.5 | 6.2 |
| United Arab Emirates | 97.8 | 6.0 |
| Russia | 80.0 | 4.9 |
| Libya | 48.0 | 2.9 |
| Nigeria | 37.2 | 2.3 |
| Kazakhstan | 30.0 | 1.8 |
| China | 25.6 | 1.6 |
| Qatar | 25.4 | 1.5 |
| United States | 20.7 | 1.3 |
| Brazil | 13.2 | 0.8 |
| Algeria | 12.2 | 0.7 |
| Angola | 10.5 | 0.6 |
| Mexico | 10.3 | 0.6 |
| Ecuador | 8.2 | 0.5 |
| Azerbaijan | 7.0 | 0.4 |
| Rest of World | 78.4 | 4.8 |
| Total | 1,637.9 | 100.0 |

Fuente: Disponible en internet: <U.S. Energy Information Administration. International Energy Outlook 2013>

- ✓ Reservas mundiales de gas natural.

Según la EIA el gas natural es el combustible fósil de más rápido crecimiento de todos, con un consumo de 113 billones de pies cúbicos en el año 2010 y con una proyección de consumo de 185 billones de pies cúbicos para el año 2040. El crecimiento de mayor consumo se presenta en los países pertenecientes a la OECD, en contraste con los países no pertenecientes a la OECD, los cuales representan más del 70% de la producción mundial de gas natural.

Entre los combustibles fósiles el gas natural es el más atractivo para el medio ambiente debido a su menor intensidad de carbono en comparación con el carbón y el petróleo. El gas natural es el combustible de la elección para la energía eléctrica y de los sectores industriales en muchas regiones del mundo.

De acuerdo al *informe International Energy Outlook 2013* de la EIA las reservas de gas natural se muestran en la figura 16. Han aumentado en un 39% los últimos 20 años para un total 6,793 billones de pies cúbicos al 1 de enero de 2013. Las reservas probadas estimadas han crecido especialmente en los países no pertenecientes a la OECD, por 1,915 billones de pies cúbicos desde 1993. Por el contrario, las reservas de los países de la OECD han disminuido en 7 billones de pies cúbicos desde 1993. Como resultado, las reservas mundiales de gas natural probadas de los países de la OECD se redujeron de 11% en 1993 al 8% en 2013. El país con mayores reservas de gas natural hasta el 01 de enero de 2013 es Rusia con 1,688 billones de pies cúbicos.

Figura 16 Reservas comprobadas de gas natural

Por países hasta el 01 de Enero de 2013. Billones de pies cúbicos. (Del inglés, 1

Trillion = 1000000000000)

| Country | Reserves (trillion cubic feet) | Percent of world total |
|-------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| World | 6,793 | 100.0 |
| <i>Top 20 countries</i> | 6,200 | 91.3 |
| Russia | 1,688 | 24.9 |
| Iran | 1,187 | 17.5 |
| Qatar | 890 | 13.1 |
| Saudi Arabia | 288 | 4.2 |
| United States | 273 | 4.0 |
| Turkmenistan | 265 | 3.9 |
| United Arab Emirates | 215 | 3.2 |
| Venezuela | 195 | 2.9 |
| Nigeria | 182 | 2.7 |
| Algeria | 159 | 2.3 |
| China | 124 | 1.8 |
| Iraq | 112 | 1.6 |
| Indonesia | 108 | 1.6 |
| Kazakhstan | 85 | 1.3 |
| Malaysia | 83 | 1.2 |
| Egypt | 77 | 1.1 |
| Norway | 73 | 1.1 |
| Canada | 68 | 1.0 |
| Uzbekistan | 65 | 1.0 |
| Kuwait | 63 | 0.9 |
| Rest of world | 593 | 8.7 |

Fuente: Disponible en internet: <U.S. Energy Information Administration. International Energy Outlook 2013.>

✓ Reservas mundiales de Carbón

De acuerdo al *informe International Energy Outlook 2013* de la EIA, desde el 1 de enero del 2009, el total de reservas recuperables de carbón de todo el mundo se estimaron en 946 mil millones de toneladas, esto para una duración cercana de 120

años. La gran proporción de las reservas a la producción de carbón del mundo indica que el carbón será suficiente para satisfacer la demanda en el futuro. Estados Unidos es el país con más reservas de carbón figura 17. De acuerdo a las diferentes formas en que este se presenta.

Figura 17 Reservas comprobadas de carbón

Por países hasta el 01 de Enero de 2009. Miles de millones de toneladas cortas.

(Del ingles, 1 short ton = 2,000 pounds)

| Region/Country | Recoverable reserves by coal rank | | | Total | 2010 production | Reserves-to-production ratio (years) |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------|---------|-------|-----------------|--------------------------------------|
| | Bituminous and anthracite | Subbituminous | Lignite | | | |
| World total | 445.0 | 285.9 | 215.2 | 946.1 | 7.954 | 119 |
| United States ^a | 118.4 | 107.2 | 33.1 | 258.6 | 1.084 | 238 |
| Russia | 54.1 | 107.4 | 11.5 | 173.1 | 0.359 | 482 |
| China | 68.6 | 37.1 | 20.5 | 126.2 | 3.506 | 36 |
| Other non-OECD Europe and Eurasia | 42.2 | 18.9 | 39.9 | 100.9 | 0.325 | 311 |
| Australia and New Zealand | 40.9 | 2.5 | 41.4 | 84.8 | 0.473 | 179 |
| India | 61.8 | 0.0 | 5.0 | 66.8 | 0.612 | 109 |
| OECD Europe | 6.2 | 0.9 | 54.5 | 61.6 | 0.620 | 99 |
| Africa | 34.7 | 0.2 | 0.0 | 34.9 | 0.286 | 122 |
| Other non-OECD Asia | 3.9 | 3.9 | 6.8 | 14.7 | 0.508 | 29 |
| Other Central and South America | 7.6 | 1.0 | 0.0 | 8.6 | 0.085 | 101 |
| Canada | 3.8 | 1.0 | 2.5 | 7.3 | 0.075 | 97 |
| Brazil | 0.0 | 5.0 | 0.0 | 5.0 | 0.006 | 842 |
| Other ^b | 2.6 | 0.8 | 0.1 | 3.6 | 0.015 | 233 |

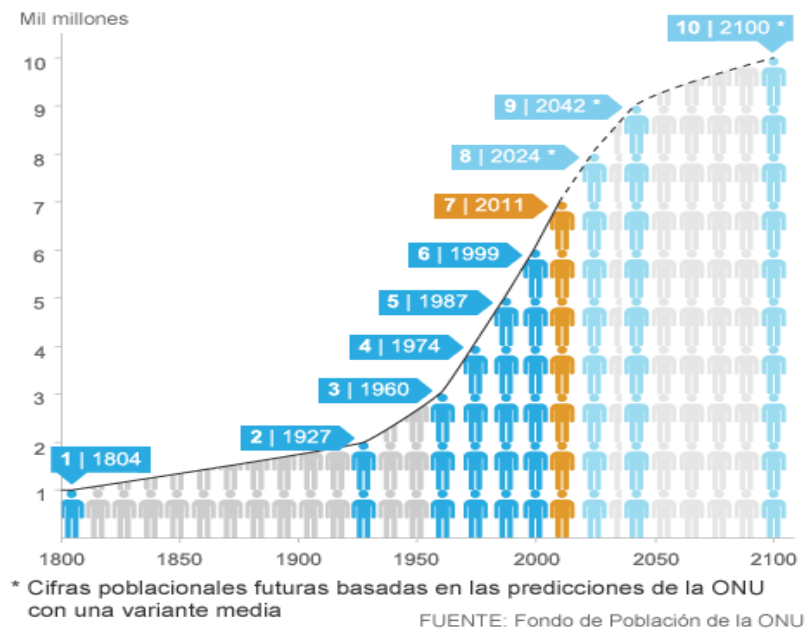
Fuente: Disponible en internet: <U.S. Energy Information Administration. International Energy Outlook 2013.>

5.8. Crecimiento de la población mundial.

La demanda de energía global está determinada principalmente por el **crecimiento poblacional**, el cual tiene un crecimiento exponencial bastante preocupante para el futuro del planeta, debido a que los recursos de la Tierra son limitados y no se puede garantizar la sustentabilidad de la población mundial con un crecimiento poblacional exponencial.

Según la ONU, la población mundial en este momento alcanza los 7200 millones de habitantes y se estima que para el 2030, ésta alcance los 8100 millones y para el 2050, 9600 millones. La población mundial se concentra principalmente en la región asiática, con un 60% del total. La figura 18 muestra el crecimiento poblacional mundial en el tiempo y su proyección hacia el futuro y la figura 1.6 muestra la distribución de la población por continentes en el año 2003.

Figura 18 Crecimiento Poblacional Mundial



Fuente: Disponible en internet: <<http://socialesde2.blogspot.com/2011/10/crecimiento-de-la-poblacion-mundial.html>>

5.8.1. Países con mayor número de habitantes en el mundo.

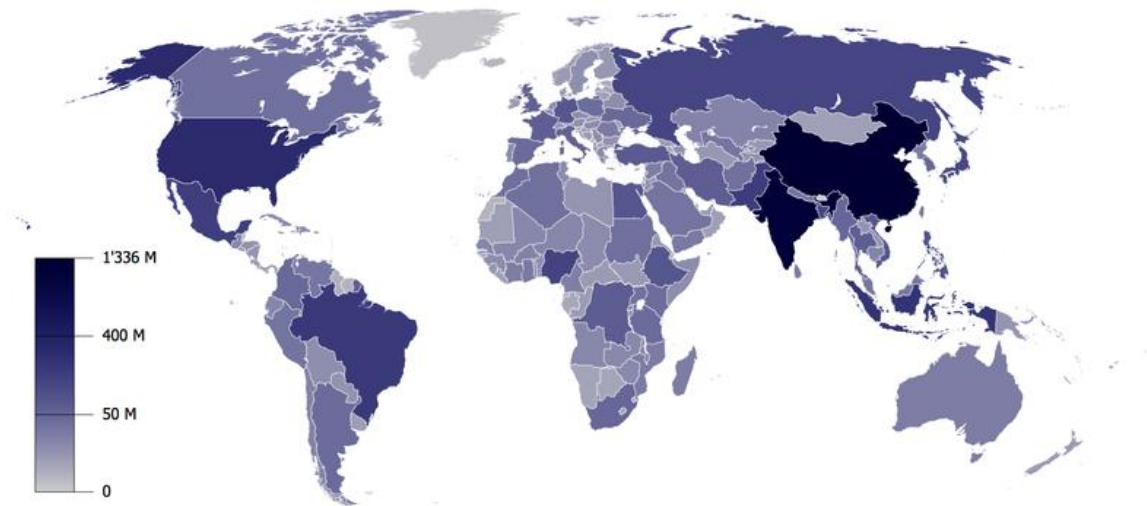
La figura 19 muestra los países con mayor número de habitantes en el mundo, estos datos son proyecciones exponenciales al 01/01/2014. Estos fueron tomados el día 23/02/2014 del sitio web Wikipedia.org. La figura 20 muestra la densidad poblacional del mundo por país, la cual es muy desigual.

Figura 19. Países con mayor número de habitantes en el mundo

| No. | País | Proyección exponencial al 01/01/2014 | % del total mundial | Cambio medio anual (%) | Cambio absoluto anual promedio | % del cambio medio abs. Total anual | Años para eventual duplicación |
|-----|-----------|--------------------------------------|---------------------|------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| 1. | China | 1.360.738.000 | 18,99 | 0,49 | 6.718.000 | 6,91 | 141 |
| 2. | India | 1.268.214.000 | 17,70 | 1,64 | 20.843.000 | 21,45 | 43 |
| 3. | E.E.U.U | 317.153.000 | 4,43 | 0,72 | 2.278.000 | 2,34 | 97 |
| 4. | Indonesia | 250.542.000 | 3,50 | 1,45 | 3.634.000 | 3,74 | 48 |
| 5. | Brasil | 202.864.000 | 2,83 | 1,82 | 3.684.000 | 3,79 | 39 |
| 6. | Pakistán | 185.966.000 | 2,60 | 2,06 | 3.825.000 | 3,94 | 34 |
| 7. | Nigeria | 176.999.000 | 2,47 | 3,02 | 5.341.000 | 5,50 | 23 |
| 8. | Bangladés | 155.574.000 | 2,17 | 1,37 | 2.125.000 | 2,19 | 51 |
| 9. | Rusia | 143.657.000 | 2,01 | 0,17 | 250.000 | 0,26 | 399 |
| 10. | Japón | 127.197.000 | 1,78 | -0,16 | -198.000 | - | - |
| 11. | México | 119.426.000 | 1,67 | 1,74 | 2.073.000 | 2,13 | 40 |
| 27. | Colombia | 47.407.000 | 0,66 | 1,17 | 555.000 | 0,57 | 60 |

Fuente: Disponible en internet: <[http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo: Países_por_población](http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Países_por_población)>

Figura 20 World Population



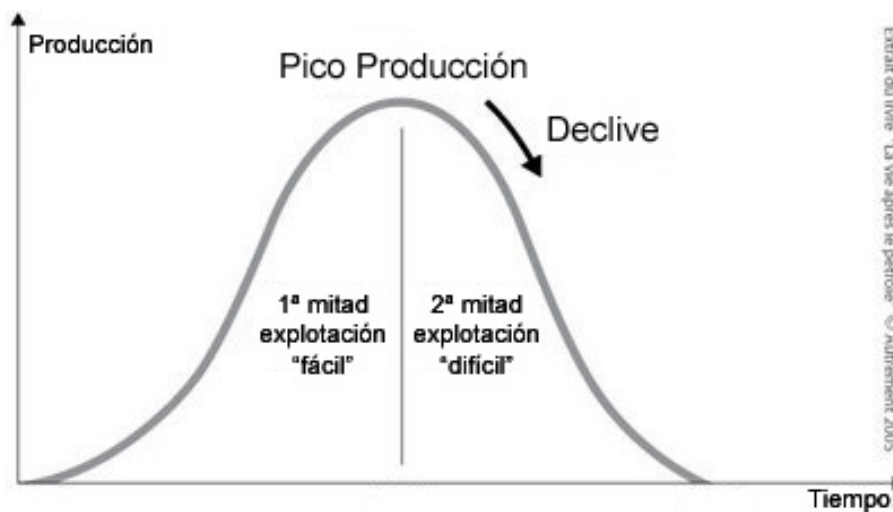
Fuente: Disponible en internet:

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:File_World_population.png>

5.8.2. El Pico de la Producción Mundial de Petróleo.

La teoría del pico de Hubbert, también llamada **cenit del petróleo**, **petróleo pico** o **agotamiento del petróleo** fue desarrollada por el geofísico Marion King Hubbert (1903 – 1989) que predice el nivel de extracción del petróleo a lo largo del tiempo el cual sigue una función en forma de campana o Gaussiana. Según esta teoría, la extracción de un pozo cualquiera sigue una curva con un máximo en su centro, llamado cenit de producción. A partir de este punto cada barril de petróleo se hace, progresivamente más caro de extraer hasta que la producción deja de ser rentable, al necesitarse gastar más cantidad de crudo, que el que se obtiene de extraerlo, a este concepto se le conoce como Tasa de Retorno Energético o EROEI (Energy Return on Energy Investment), la cual es la energía que proporciona un recurso en relación con la energía que se invierte para obtenerla. Antes de 1950, esta tasa era de 100/1; en los años 70 cayó a 30/1; actualmente es de 5/1. En la figura 21 se presenta la curva teórica de Hubbert en forma de campana para un recurso energético.

Figura 21 Curva Teórica de Hubbert para un Recurso Energético



Fuente: Disponible en internet: <<http://nosinmibici.files.wordpress.com/2010/04/grafico-4-curva-de-hubbert-esp1.gif>>

5.8.2.1. La predicción del pico mundial.

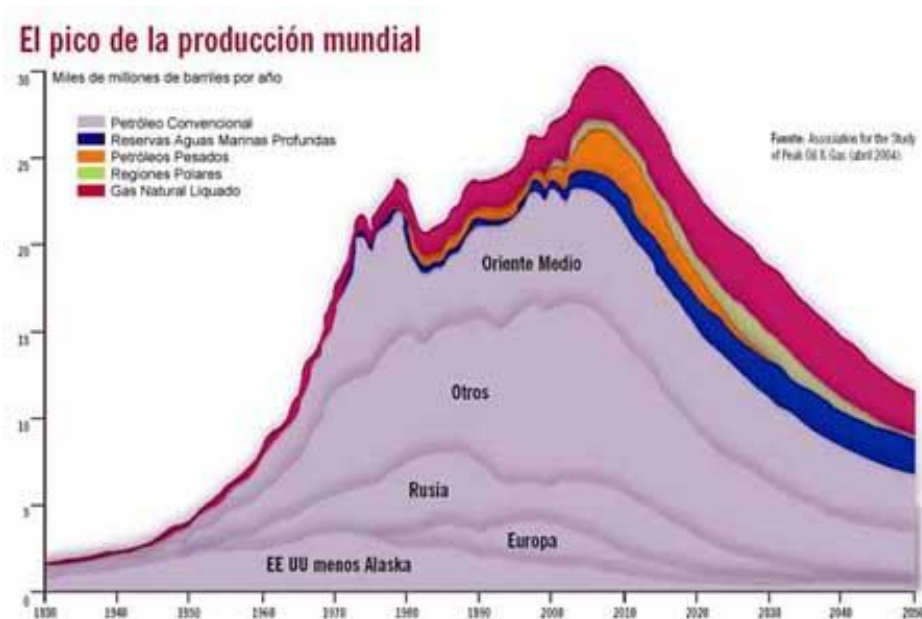
Es una realidad que los combustibles fósiles son finitos ya que son energías no renovables en escalas cortas de tiempo y en un momento u otro se llegará al límite mundial de extracción, por lo cual esta teoría es ampliamente aceptada en la comunidad científica y en la industria petrolera. De acuerdo a esto el debate no se centra si existirá un pico del petróleo, sino cuando.

En 1971, Hubbert pudo predecir el pico global del petróleo usando las estimaciones de las reservas mundiales de crudo, utilizando las previsiones más optimistas y pesimistas de ese entonces, y lo situó entre el año 1995 y el año 2000, pero esa predicción resultó errónea, debido a varios factores o acontecimientos imprevistos como la crisis energética de 1973, en la cual disminuyeron drásticamente los suministros de crudo, lo que se tradujo en escasez que condujo a reducir el consumo; y la reducción de la demanda debido a las recesiones de los años 1980

y 1990 lo cual también redujo la demanda del consumo de crudo, todos estos factores serían los causantes del retraso del pico del petróleo.

Según la Asociación para el Estudio del Pico del Petróleo y el Gas (ASPO por sus cifras en inglés), el pico mundial de producción habría sucedido en torno al año 2010. Para el gas natural el pico se retrasaría unos años más y se situaría entre el 2015 y el 2025. En la figura 22 se presenta el pico de la producción Mundial.

Figura 22 Pico de la producción mundial



Fuente: Disponible en internet: <<http://nosinmibici.com/2010/04/27/el-pico-del-petroleo-primera-parte/>>

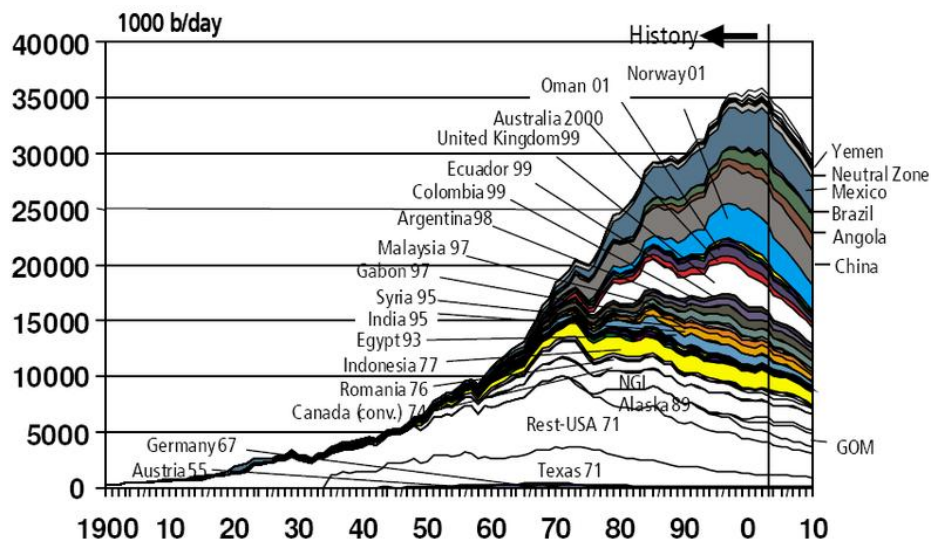
Por el contrario, el United States Geological Survey (USGS) estimó que hay suficiente petróleo para continuar los niveles de extracción actuales durante 50 o 100 años más. Según las predicciones de la USGS realizadas en el año 2000, dieron como resultado que la llegada del pico del petróleo sería alrededor del año 2037. Colin Campbell, fundador de la ASPO, argumenta que las estimaciones del

USGS son erróneas, debido a que los países de la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo) sobreestiman sus reservas para obtener cuotas más altas y evitar las críticas internas. Además un eventual crecimiento demográfico exponencial conducirán a un incremento del consumo futuro de la energía.

5.8.2.2. Países que ya pasaron el pico de producción.

La teoría de Hubbert ya se ha comprobado para la mayoría de los países que producen o han producido petróleo. En cada país se verifica un punto máximo de producción, a partir del cual el descenso de la producción es inevitable. Estados Unidos, uno de los principales consumidores de energía tuvo su pico en el año 1970, y este no siguió la forma de la campana, debido al posterior descubrimiento y explotación de reservas en Alaska. Colombia tuvo su pico de producción en el año 1999. En la figura 23 se presenta el pico de producción por países en el año 2004.

Figura 23 Pico de producción de petróleo por países 2004



Source: Industry database, 2003 (IHS 2003)
OGJ, 9 Feb 2004 (Jan-Nov 2003)

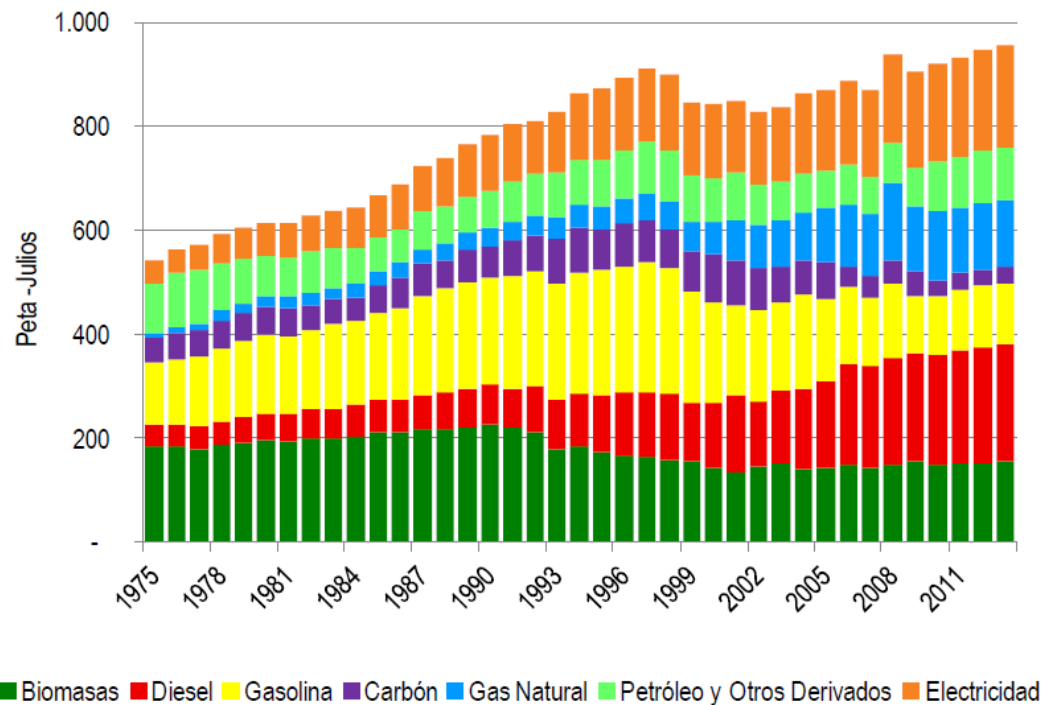
Fuente: Disponible en internet:

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hubbert_world_2004.png>

5.9. Análisis de la energía en Colombia.

La Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia (UPME) presenta en un reporte titulado “Proyección de Demanda de Energía Eléctrica en Colombia” de marzo de 2013 la siguiente información sobre la energía en Colombia: “De acuerdo a la información del Balance Energético Nacional, en el año 2012 Colombia consumió cerca de mil PetaJulios de energía final, de los cuales aproximadamente el 67% corresponde al consumo de fuentes fósiles (carbón, hidrocarburos y sus derivados), 13% son biomasas y un 20% corresponde al consumo de energía eléctrica (es importante aclarar que cerca de 20% de la electricidad procede a su vez de fuentes fósiles y que aproximadamente 7% de la gasolina y diesel consumidos tiene origen vegetal).” En la figura 24 se presenta la demanda final de energía en Colombia entre los años 1975 y 2012.

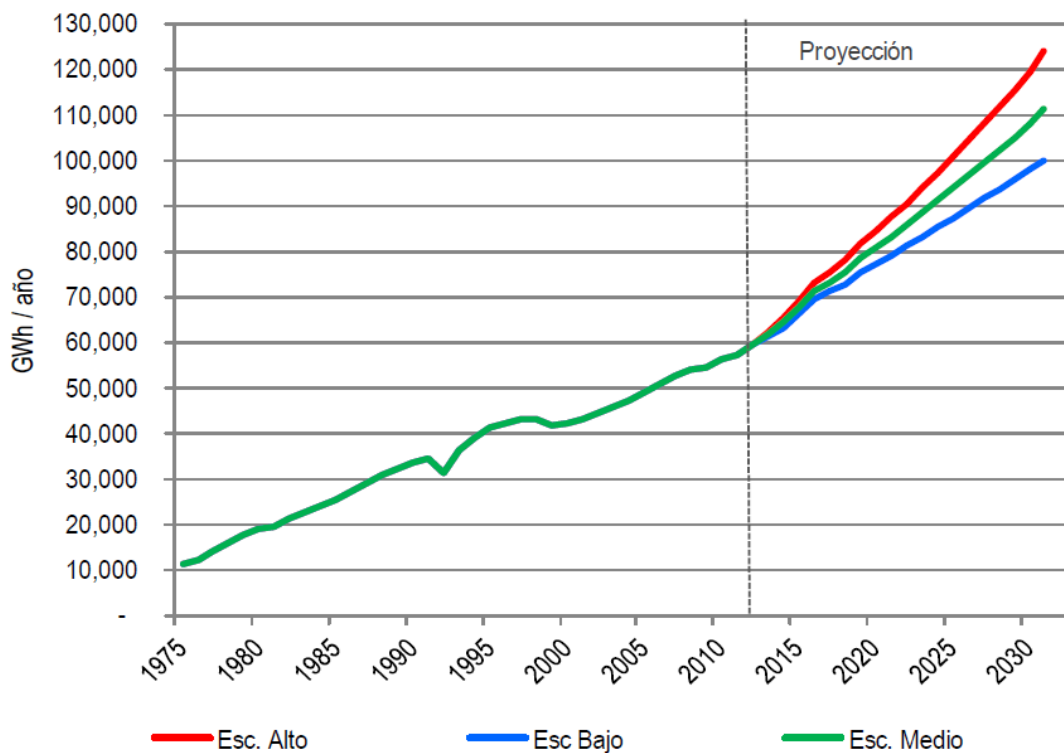
Figura 24 Demanda final de energía en Colombia



Fuente: Balances Energéticos UPME. Nota: Valores preliminares 2011-12.

El mismo informe también presenta una proyección de la demanda de energía eléctrica para las siguientes dos décadas. En el escenario medio se estima para el periodo comprendido entre los años 2012-20 un crecimiento promedio anual de la demanda de 3.9%, mientras para los escenarios alto y bajo tasas de 4.5% y 3.4%, respectivamente. Para la década 2020-2030, en el escenario medio se estima un crecimiento anual promedio de 3.0% y para los escenarios alto y bajo de 3.6% y 2.4%. En la figura 25 se muestra los diferentes escenarios de la demanda nacional de energía eléctrica en Colombia.

Figura 25. Escenarios de proyección de demanda nacional de energía eléctrica

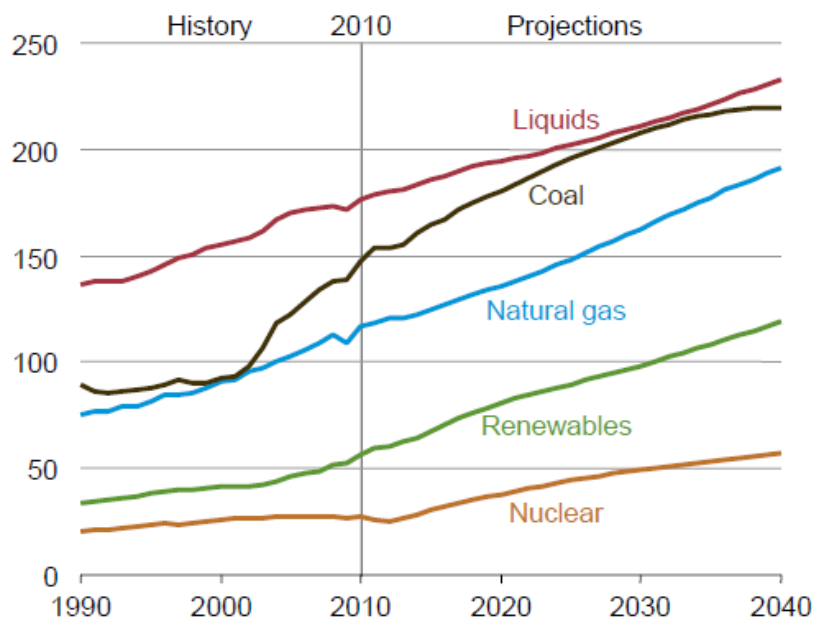


Fuente. UPME. Proyección de Demanda de Energía Eléctrica en Colombia. Marzo de 2013

5.10. Proyección del consumo de energía mundial para los diferentes tipos de energías.

De acuerdo con la IEA en su reporte *International Energy Outlook 2013*, se proyecta el consumo mundial de energía para los diferentes tipos de energía hacia el año 2040. Según este informe, los combustibles fósiles seguirán siendo la principal fuente energética del mundo, sin embargo el consumo de los combustibles líquidos como el petróleo caerán de un 34% en el año 2010, a un 28% para el año 2040. Las fuentes de energía con mayor crecimiento a nivel mundial serán las energías renovables y la energía nuclear. Las energías renovables crecerán de un 11% en el año 2010, a un 15% en el año 2040, y la energía nuclear crecerá de un 5% a un 7%. En la figura 26 se presenta el crecimiento del consumo mundial de energía para los diferentes tipos de energía hacia el año 2040.

Figura 26 Consumo de energía mundial para los diferentes tipos de energías
(Quadrillón Btu=1000 billones Btu)



Fuente: U.S. Energy Information Administration. International Energy Outlook 2013.

5.11. Situación de las Diferentes Fuentes de Energía en la Tierra.

Como se mencionó anteriormente las principales fuentes energéticas son: energía nuclear de fisión, energía nuclear de fusión, energía del carbón, energía del petróleo y del gas natural, energía solar, energía eólica, energía hidráulica, energía de la biomasa, energía geotérmica y energía de las mareas. A continuación se analizará diversos aspectos de cada energía, tales como origen, potencial energético, formas de aprovechamiento, reservas, consumo y duración prevista.

5.12. Energía nuclear de fisión.

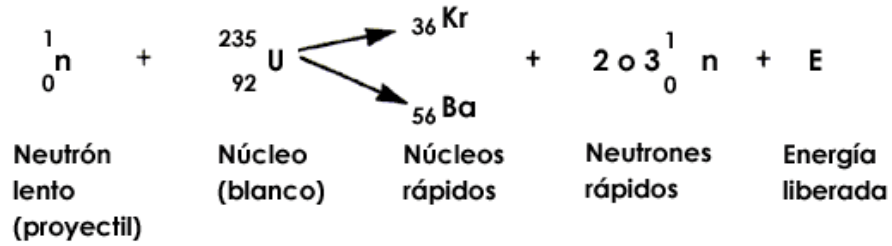
La energía nuclear de fisión se origina en la ruptura del núcleo de elementos pesados como el uranio, el torio o el plomo, mediante el bombardeo del núcleo con protones. De estos el uranio es el único que está presente en la naturaleza para utilizarse como material fisionable, y además, no se encuentra en estado puro, se halla en combinación con distintos minerales. La uraninita (pechblenda) es la que tiene más contenido de uranio, con 60-80% de óxido de uranio, seguida de la carnonita. Para que sea rentable la explotación de uranio, se deben considerar un contenido en otras sustancias que sobrepase las 1000 ppm (partes por millón)

Algunos datos característicos del uranio son: peso atómico de 238,07, número atómico 92 y posee 8 isótopos que van del 233 al 240, siendo los más abundantes el U-234, U-235, y U-238.

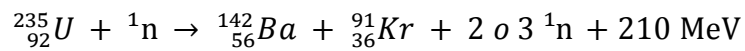
5.12.1. Proceso en un reactor nuclear de Fisión.

El proceso se lleva a cabo cuando un átomo de U-235 es bombardeado por un neutrón, provocando un rompimiento de este en dos átomos más ligeros, el Kriptón y el Bario, a una gran velocidad. En la figura 27 se representa esta reacción:

Figura 27 Reacción de fisión

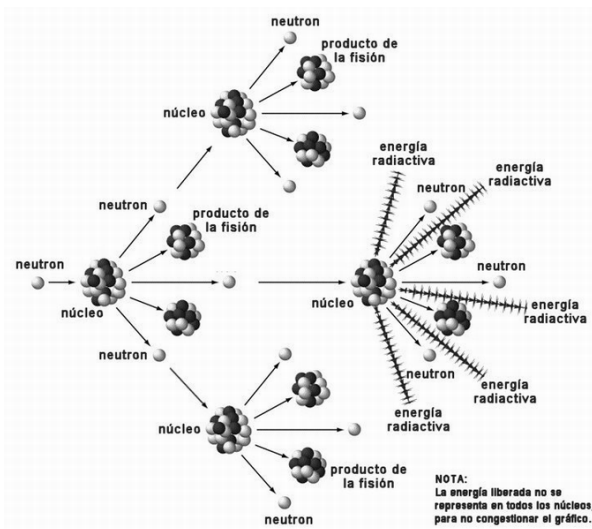


Fuente: <<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/120/img/pio126.gif>>



En esta reacción se puede observar la desintegración de U-235 en Ba y Kr, más 2 o 3 neutrones, más una radiación gamma (γ) igual a 210 MeV (1MeV = 1 megaelectrón voltio = $1.60217657 \times 10^{-13}$ Joule, es decir, $200\text{MeV} = 3,2 \cdot 10^{-11}$ J, o lo que es igual, 18 TJ/mol = 77 TJ/kg). Estos electrones liberados a su vez impactan en otros átomos de U-235, produciéndose así una reacción en cadena como lo muestra la Figura 28.

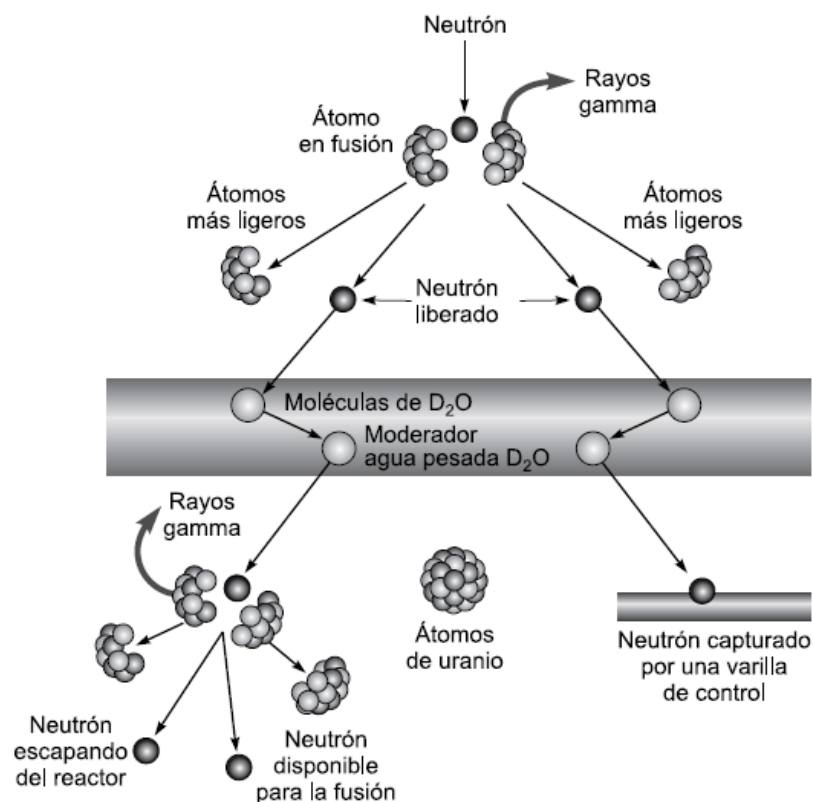
Figura 28 Reacción de fisión en cadena



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.monografias.com/trabajos59/enlaces-quimicos-nicaragua/Image10.gif>>

Pero para poder que se mantenga esta reacción en cadena se necesita que se disponga de una **masa crítica**, y para que se ésta no sea explosiva, se necesita un agente moderador que frene esa velocidad, como puede ser al agua ligera o pesada (H_2O ó H_2O_2). Además de esto se necesitan unos absorbedores de neutrones para la reacción o para controlar la potencia del reactor: varillas de control, generalmente de carburo de Boro. En este proceso la energía cinética es transferida por colisión a otros átomos (agua, CO_2 , sodio, etc.), lo cual origina un aumento de temperatura. En la figura 29 se muestra el proceso básico al interior de un reactor nuclear y en la Figura 30 se presenta un reactor nuclear de fisión.

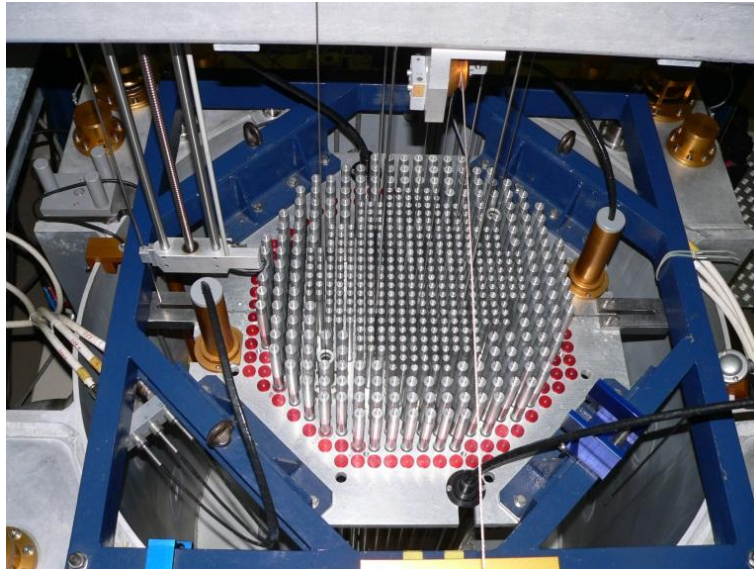
Figura 29 Proceso Básico al interior de un reactor Nuclear



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables.

[32].

Figura 30 Reactor nuclear de fisión



Fuente: Disponible en internet: <<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a7/Crocusp1020491.jpg>>

5.12.2. Potencial energético de la energía de fisión.

El potencial energético de la energía nuclear por fisión es de:

$$1 \text{ Tn } U^{235} = 10.000 \text{ Tn } \textit{petróleo} = 20.000 \text{ Tn } \textit{carbón}$$

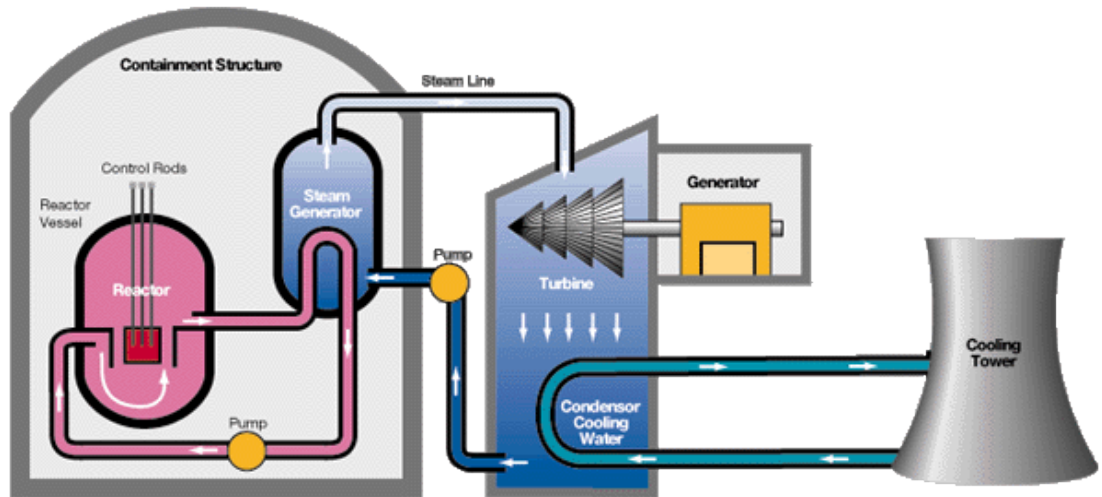
$$\textit{Para producir 1 GWh/año se precisan 30 Tn } U^{235}$$

5.12.3. Formas de aprovechamiento de la energía de fisión.

La forma de aprovechamiento de esta energía se basa en la energía térmica producida por el calor generado en la reacción en cadena controlada, el cual eleva la temperatura de una sustancia (agua, CO₂, sodio) convirtiéndola en vapor o gas a alta presión, para luego mover una turbina produciendo energía mecánica, que luego será transformada a energía eléctrica a través de un generador. A su vez el vapor de la sustancia después de haber pasado por la turbina es refrigerado por

una torre de enfriamiento. En la figura 31 se presenta una Central Nuclear de Fisión con su proceso de obtención de energía.

Figura 31 Central Nuclear de Fisión



Fuente: Disponible en internet:

<http://web.educastur.princast.es/proyectos/jimena/pj_franciscga/ciclonuclear.gif>

5.12.4. Reservas de la energía de fisión.

Debido a que el uranio es elemento radiactivo más abundante, se presenta a continuación la tabla 3 con los países de mayor abundancia en este elemento. Las estadísticas están dadas de acuerdo a dos asociaciones, la Asociación Nuclear Mundial (ANM) y la European Nuclear Society (ENS).

Tabla 3 Países con reservas de Uranio

| País | ANM | | ENS | |
|-----------------------|-----------|------------|-----------|------------|
| | Toneladas | Porcentaje | Toneladas | Porcentaje |
| Australia | 1.243.000 | 22,7% | 725.000 | 22,0% |
| Kazajistán | 817.000 | 14,9% | 378.100 | 11,5% |
| Rusia | 546.000 | 10,0% | 172.400 | 5,2% |
| Sudáfrica | 435.000 | 8,0% | 284.400 | 8,6% |
| Canadá | 423.000 | 7,7% | 329.200 | 10,0% |
| Estados Unidos | 342.000 | 6,3% | 339.000 | 10,3% |
| Brasil | 278.000 | 5,1% | 157.400 | 4,8% |
| Namibia | 275.000 | 5,0% | 176.400 | 5,3% |
| Nigeria | 274.000 | 5,0% | 243.100 | 7,4% |
| Ucrania | 200.000 | 3,7% | 135.000 | 4,1% |

Fuente: Disponible en internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/Reservas_de_uranio#cite_note-1>

5.12.5. Consumo y duración prevista de la energía de fisión.

En el año 2007, el consumo de Uranio ascendió a $622,0 \times 10^6$ Tep (Fuente: *BP Statistical Review-2008*), siendo el primer consumidor Estados Unidos de América, con $192,1 \times 10^6$ Tep, seguido de Francia con $99,7 \times 10^6$ Tep, Japón $63,1 \times 10^6$ Tep, Alemania, $31,8 \times 10^6$ Tep, Rusia, $36,2 \times 10^6$ Tep, Corea del Sur $32,3 \times 10^6$ Tep, Canadá, con $21,1 \times 10^6$ Tep, Ucrania, con $20,9 \times 10^6$ Tep, etc. Al ritmo de producción actual, el uranio de bajo precio (a40 \$/kg) tendría una duración de 27,8 años y el total de reservas 80 años. (Datos tomados del Libro: Centrales de Energías Renovables: Generación Eléctrica con Energías Renovables. José A. C. González, Roque C. Pérez, Antonio C. Santos, Manuel-A.C. Gil).

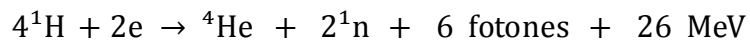
5.13. Energía nuclear de fusión.

Esta energía se origina en la fusión de dos núcleos atómicos para formar otro núcleo más pesado, pero menos que la suma de los dos núcleos, esa diferencia se refleja en energía liberada en el proceso y está regida por la expresión matemática de Albert Einstein:

$$E = m \cdot C^2$$

En una reacción de fusión existe elevada presión, densidad y temperatura, lo que permite que los electrones queden liberados de los núcleos, alcanzando un estado de la materia denominado plasma, en este las fuerzas de Coulomb, que a esta escala resultan ser grandes, son vencidas, y por lo tanto es posible el proceso de fusión de los átomos.

Las estrellas como el sol, son reactores nucleares, ya que están formadas por hidrógeno (H) que se unen o se fusionan entre sí para formar átomos de Helio (He), los cuales tienen una masa menor que la suma de los átomos de H, esa diferencia representa la energía liberada en el proceso, como se muestra en la siguiente reacción:



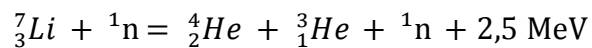
Las condiciones necesarias para este proceso son: una presión 10^8 bares (presente en el sol), una temperatura superior a 20 millones de °C y una densidad de 10^4 kg/m^3 .

Conseguir estas condiciones en la Tierra es un gran problema, pero existen otras opciones si en vez de hidrógeno se emplea hidrógeno pesado (deuterio) o superpesado (tritio), con estos elementos las condiciones cambian a 100 millones de °C y 100 billones de partículas por cm^3 . Tales condiciones se consiguen en la bomba de hidrógeno.

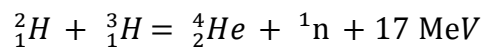
Existen dos reacciones mediante las cuales se pueden conseguir el proceso de fusión: *reacción deuterio-tritio* y *reacción deuterio-deuterio*.

La reacción deuterio-tritio es la más fácil de conseguir, pues las temperaturas requeridas son más bajas. El deuterio 2_1H es muy abundante en la naturaleza con una concentración de 30 g/m^3 en el agua del mar, sin embargo el tritio 3_1H no se encuentra en estado natural, y se consigue en una reacción nuclear a partir del Litio natural, que sí es abundante en la naturaleza. La reacción deuterio-tritio es la siguiente:

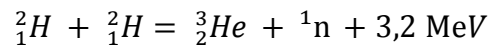
Fisión del núcleo de Litio



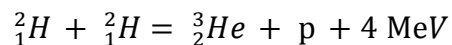
Fusión Deuterio-Tritio



La reacción deuterio-deuterio es más difícil de conseguir. En esta se produce helio y un neutrón, o también, tritio y un protón.

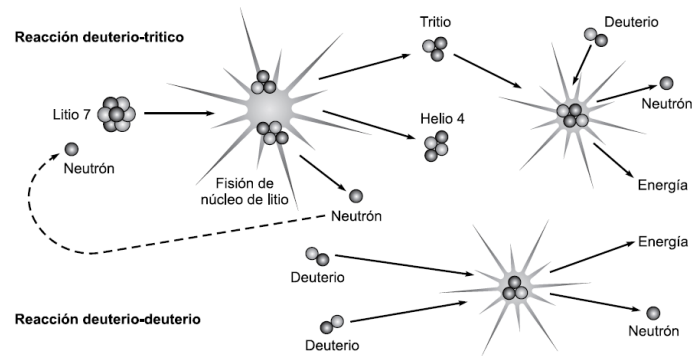


También



En la figura 32 se muestran las dos reacciones: Deuterio-Tritio y Deuterio-Deuterio.

Figura 32 Reacciones de fusión



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables. [34].

5.13.1. Potencial energético de la energía de fusión.

Tanto el deuterio como el tritio son sustancias muy abundantes en la Tierra. 1 m³ de agua de mar contiene 10²⁵ átomos de deuterio, con una masa de 34,4 g y una energía de 8 x 10¹² julios. Equivale a 300 Ton de carbón o 1.500 barriles de petróleo. Ello significa que 1 km³ de agua de mar equivale a 300.000 millones de Ton de carbón o 1.500 millones de barriles de petróleo. Como los océanos tienen 1.500 millones de km³ de agua, el empleo de 1% del deuterio del océano equivale a 500.000 veces la energía de todos los combustibles fósiles existentes. En cuanto al tritio, puede obtenerse a partir de la fusión de los átomos de litio, cuyas reservas también pueden considerarse ilimitadas.

5.13.2. Formas de aprovechamiento de la energía de fusión.

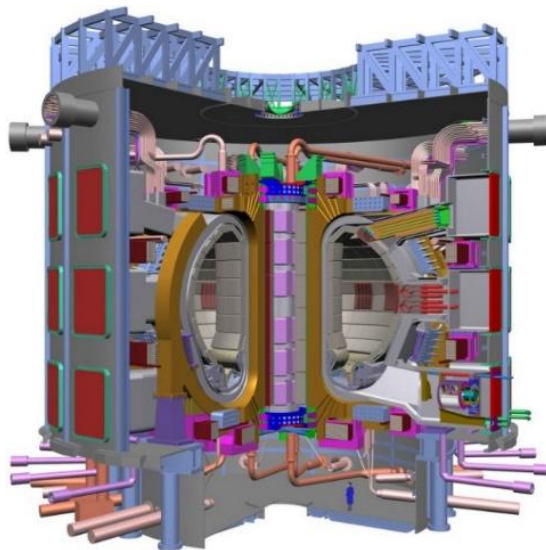
Al igual que la energía nuclear de fisión, la forma de aprovechamiento de la energía nuclear de fusión es mediante la producción de calor en el reactor, el cual evapora agua, para su posterior conversión en energía mecánica mediante una turbina. La

formación de 1 kg de helio, a partir de H₂ libera una energía equivalente a 27.000 Ton de carbón.

5.13.3. Reservas, consumo y duración de la energía de fusión.

Para las reservas por efectos prácticos, pueden considerarse ilimitadas. En cuanto al consumo, esta es inexistente. La situación actual de la energía de fusión es la puesta en marcha de un reactor experimental (ITER, en Francia), que estaría en funcionamiento a partir del año 2020. Su duración se considera ilimitada. En la figura 33. Se presenta el proyecto de reactor nuclear mediante fusión ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor).

Figura 33 Reactor Nuclear de Fusión ITER



Fuente: Disponible en internet:

<<http://www.idi.mineco.gob.es/stfls/MICINN/Investigacion/IMAGENES/ITER.jpg>>

5.14. Energía del carbón.

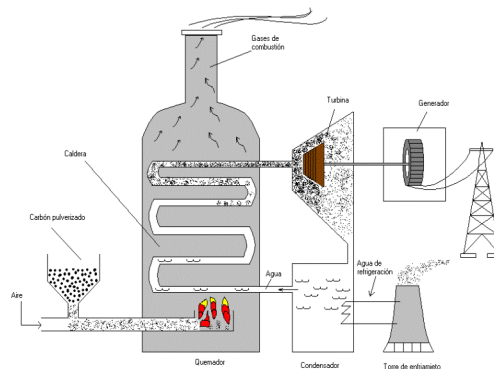
El carbón se formó a partir de masas vegetales enterradas bajo el subsuelo y sometidas a procesos de descomposición (anaerobia) y presión. El proceso de formación del carbón es el siguiente: la materia vegetal inicial se transforma en turba

(perdiendo agua y gases). Cuando las turberas se hunden, el aumento de presión y temperatura expulsan más agua y gases (O_2 y N_2), formándose el lignito y los carbones pardos. Mayores presiones y temperaturas eliminan más gases transformando el carbón pardo en carbón bituminoso (hulla). La fase final de compresión y expulsión de gases da lugar a la antracita, la cual es el carbón mineral metamorfoseado y el que presenta mayor contenido en carbono, con un gran poder calorífico pero que arde con dificultad. Las reservas globales de carbón se agotarían en 147 años.

5.14.1. Formas de aprovechamiento del carbón.

El principal objetivo del carbón es producir calor (quemándolo, es decir, haciendo que reaccione con el oxígeno del aire) y con él, evaporar agua para mover una turbina y transformarlo en energía mecánica. También se emplea su energía para fundir el mineral de hierro en los altos hornos y para obtener diversos productos en la industria química. En la figura 34 se observa una central térmica a base de carbón.

Figura 34 Central térmica de carbón



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.fotosimagenes.org/calefaccion-por-vapor>>

5.14.2. Reservas de carbón en Colombia.

Las reservas de carbón se estiman en aproximadamente 6648 millones de toneladas (MT), y se encuentran distribuidas en las tres grandes cordilleras

(Oriental, Central y Occidental), localizadas en el interior del país y en la Costa Atlántica. En la tabla 4 se muestra la distribución de las reservas de carbón por departamentos.

Tabla 4 Distribución de reservas de carbón por departamentos.

Millones de toneladas.

| ZONAS CARBONIFERAS | RECURSOS Y RESERVAS | | TIPO DE CARBON |
|--------------------|---------------------|-----------|----------------------|
| | MEDIDAS | INDICADAS | |
| Antioquia | 90 | 225 | Térmico |
| Boyacá | 170.4 | 682.7 | Térmico y Coquizable |
| Cauca | 16.4 | 66.8 | Térmico |
| Cesar | 1933 | 589 | Térmico |
| Córdoba | 381 | 257 | Térmico |
| Cundinamarca | 241.9 | 538.7 | Térmico y Coquizable |
| Guajira | 90 | - | Térmico |
| N. Santander | 68 | 101 | Térmico y Coquizable |
| Santander | 57.1 | 114 | Térmico y Coquizable |
| Valle del Cauca | 20.1 | 22.4 | Térmico |
| TOTAL PAIS | 6647.9 | 2596.6 | |

Fuente: Disponible en internet:

<http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/areas/zonas/indice.htm>

5.15. Energía del Petróleo y del gas natural.

La energía del petróleo y la energía del gas natural provienen esencialmente de organismos microscópicos (plancton) que se crían en las aguas superficiales de los océanos y que se van concentrando, a su muerte, en el fondo del mar; también restos de otros animales y vegetales que viven en lagunas o desembocaduras de

ríos. La materia orgánica se transforma en hidrocarburos gracias a la presión y al calor generados en su enterramiento. Cuando el calor alcanzado es elevado, parte de los hidrocarburos se convierten en gases (gas natural). El resultado es una mezcla de gases (metano, etano, propano, butano, hidrógeno) líquidos ligeros (petróleo, aceites ligeros), líquidos muy viscosos (que no fluyen si no se calientan), hasta arenas y pizarras bituminosas.

5.15.1. Formas de aprovechamiento del petróleo y del gas natural.

El petróleo se aprovecha para producir calor (por combustión con el oxígeno del aire), evaporando agua, moviendo una turbina y transformándolo en energía mecánica. También se emplea para el accionamiento de todo tipo de vehículos terrestres, marítimos, aéreos, (donde es prácticamente insustituible) y, en menor medida, en calefacción y otras industrias que requieran una aportación energética de tipo calorífico. Del petróleo se obtiene una gran cantidad de compuestos químicos (plásticos, fibras, medicamentos, insecticidas, etc.).

El gas se destina predominantemente a consumo doméstico (calefacción y cocción), así como a la producción de vapor de agua (por combustión del gas) para la industria generadora eléctrica.

5.15.2. Reservas de petróleo en Colombia.

Según el Ministerio de Minas y Energía informó que a Colombia le quedan siete años de reservas de petróleo debido a la disminución en la exploración de pozos de crudo. De acuerdo a la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) hasta el cierre de 2012, se habían hallado 2.377 millones de barriles de reservas de petróleo en Colombia.

5.15.3. Reservas de gas natural en Colombia.

En cuanto al gas natural Colombia tiene reservas para 20 años, dependiendo de cómo se consuman. Las reservas están distribuidas entre las de la Guajira, el Pie de Monte y los dos recientes hallazgos de Gibraltar en Norte de Santander y el Campo La Creciente, en el departamento de Sucre (Tomado del sitio web: <http://www.eluniversal.com.co/monteria-y-sincelejo/economica/las-reservas-de-gas-natural-alcanzaran-para-20-anos-42663>)

5.16. Energía Solar.

Es la energía radiante procedente del Sol y que llega a la superficie de la Tierra (infrarrojo, luz visible y ultravioleta). Es variable, en función de la hora del día, época del año y situación atmosférica: día-noche, estación del año (altura del sol sobre el horizonte), nubes, nieblas, smog, calimas, etc. En teoría, la radiación media incidente por m² fuera de la atmósfera es de 1,4 kW/m².

5.16.1. Formas de aprovechamiento de la energía solar.

Los métodos de aprovechamiento pueden englobarse en dos grandes grupos: **térmicos y fotovoltaicos**. Los primeros transforman la energía solar en energía térmica (calentando aire, agua u otras sustancias). Los segundos transforman la energía solar en energía eléctrica, aprovechando el efecto fotovoltaico, en las denominadas «células solares» o «fotovoltaicas».

5.16.2. Producción, consumo y duración de la energía solar.

La energía total que llega a la Tierra procedente del Sol es de 1.559.280 TWh en un año, de los cuales alrededor de un 1% podrían ser utilizables. La potencia solar aprovechable en la Tierra supera los 1.000 TW. Por las características de esta energía, la producción y el consumo son idénticos, tanto en el tiempo como en el espacio (no se transporta de una zona a otra). En todo el mundo hay instalados más de 300 MW (en centrales solares fotovoltaicas), destacando 110 MW en Japón, 60,5

MW en Estados Unidos y 38,6 MW en la Unión Europea. Su duración se considera ilimitada.

5.17. Energía Eólica

La energía eólica no es más que la energía cinética de una masa de aire en movimiento. Su origen se encuentra en la existencia sobre la Tierra de masas de aire a diferentes temperaturas, originadas por diferentes intensidades de radiación solar, a nivel global o local, las cuales producen corrientes ascendentes y descendentes, formando anillos de circulación del aire.

5.17.1. Formas de aprovechamiento de la energía eólica.

El aprovechamiento de esta fuente energética es su conversión directa en energía mecánica a través del giro del eje de la turbina eólica para su posterior conversión en energía eléctrica.

5.17.2. Producción, consumo y duración de la energía eólica.

En todo el mundo hay instalados más de 240 GW, con un elevado crecimiento anual. (Fuente: *Global Wind Energy Outlook 2012*). Se considera su duración ilimitada.

5.18. Energía Hidráulica.

La energía hidráulica es la contenida en una masa de agua elevada respecto de un nivel de referencia (de utilización). La energía potencial del agua se transforma en energía cinética. Su origen es la evaporación del agua (en el mar, tierra, pantanos, etc.) por la acción de la energía solar y que cae en forma de lluvia o nieve en cotas altas de la superficie terrestre.

5.18.1. Formas de aprovechamiento de la energía hidráulica.

La energía potencial del agua se transforma en energía cinética y ésta a su vez en energía mecánica por medio de las turbinas hidráulicas, colocadas en la base de los correspondientes embalses reguladores. Esta energía cinética es transformada a energía eléctrica mediante un generador.

5.18.2. Producción, consumo y duración de la energía hidráulica.

La producción es exactamente igual al consumo, y obviamente, la duración del recurso es ilimitada. En todo el mundo hay instalada una potencia hidroeléctrica de 650 GW, con una producción de $709,2 \times 10^6$ Tep en 2007. La mayor producción se encuentra en China con $109,3 \times 10^6$ Tep, seguida de Brasil, con $84,1 \times 10^6$ Tep, Canadá con $83,3 \times 10^6$ Tep, Estados Unidos con $56,8 \times 10^6$ Tep, Noruega, con $30,6 \times 10^6$ Tep, etc.

5.19. Energía de la biomasa.

Es la energía solar almacenada en los seres vivos, vegetales o animales por medio del proceso de fotosíntesis (vegetales) y la digestión (comida) de estos vegetales por los animales. En la práctica pueden suponerse tres fuentes de energía de la biomasa: De origen vegetal: biomasa natural, cultivos energéticos; De origen animal: excrementos y purines; De origen humano: los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), procedentes de viviendas, comercios, fábricas, etc.

5.19.1. Formas de aprovechamiento de la energía de la biomasa.

La forma en la que se aprovecha la energía geotérmica es la obtención de energía térmica ya sea para uso doméstico o industrial, por medio de un fogón a fuego abierto, o por medio de una caldera de vapor.

5.19.2. Producción, consumo y duración de la energía de la biomasa.

No es almacenable por lo que la producción y el consumo coinciden en el tiempo. La producción neta anual de biomasa se estima en 400.000 Mtn/año, de las cuales solo una pequeña parte son aprovechadas. En términos energéticos, el consumo de energía procedente de la biomasa en el año 1996 se estimó en el rango 33 - 55 EJ, Exajulios. (Fuente: *World Energy Assessment*).

5.20. Energía Geotérmica.

La energía geotérmica se origina en el calor acumulado en el interior de la tierra. Este calor solo es posible aprovecharlo en aquellas zonas donde el calor se aproxima a la superficie, normalmente en los denominados cinturones sísmicos o por una corteza anormalmente delgada.

5.20.1. Formas de aprovechamiento de la energía geotérmica.

La energía geotérmica se aprovecha según la temperatura de la zona de donde se extrae. Cuando la temperatura es relativamente alta se aprovecha principalmente en producción de energía eléctrica, en esta, el calor evapora agua y esta se emplea para mover turbinas de vapor y producir electricidad. Cuando la temperatura es baja, se aprovecha principalmente para la calefacción u otros usos industriales.

5.20.2. Producción, consumo y duración de la energía geotérmica.

Por el uso directo del calor la producción es igual al consumo. En todo el mundo hay una potencia total instalada de casi 10 GW y una potencia térmica de 4 Gwe (gigawatt electrical). Por países, la mayor producción (año 1990) se produjo en Estados Unidos, (2.800 Mwe y 160 MWt, megavatio térmico), seguido de Japón (228 MWe y 970 MWt) y Filipinas (894 MWe). La duración se considera ilimitada.

5.21. Energía Mareomotriz.

El origen de la energía mareomotriz es la interacción gravitatoria Tierra-Luna, que desplaza grandes cantidades de agua en los océanos.

5.21.1. Aprovechamiento de la energía mareomotriz.

Su aprovechamiento es mediante la conversión de la energía mecánica en energía eléctrica mediante turbinas hidráulicas.

5.21.2. Producción, consumo y duración de la energía mareomotriz.

Por las características de esta energía (conversión en energía eléctrica), la producción y el consumo son cantidades idénticas. Por la condición de energías renovables, su duración es ilimitada. La mayor instalación en funcionamiento se encuentra en el estuario de la Rance (Francia), con una potencia instalada de 240 MW y que alcanza una producción de 480 GWh/año.

5.22. Conclusiones.

- ✓ La energía es una propiedad fundamental del universo, en su definición más esencial se describe como la capacidad que tiene un cuerpo para producir trabajo. La energía es un concepto casi indescriptible ya que es imperceptible, no se puede realizar un contacto directo con la energía, sólo se puede detectar sus efectos sobre el universo.
- ✓ Actualmente existe una preocupación mundial por los recursos energéticos del planeta. Las principales fuentes de energía con mayor demanda en el mundo son los llamados combustibles fósiles, con aproximadamente un 80% de demanda a nivel mundial. Esta energía proporcionada por los combustibles fósiles es la más potente y menos costosa de producir en la Tierra, pero lamentablemente el planeta no tiene recursos fósiles infinitos para garantizar una sostenibilidad futura. Es por eso que se tiene previsto

que existirá una eventual crisis energética en un futuro ya que no existen otros recursos energéticos que sustituyan en su totalidad esta demanda.

- ✓ Uno de los principales problemas de la crisis energética es el gran crecimiento poblacional de la Tierra. El crecimiento demográfico acelerado es uno de las consecuencias que ha proporcionado el desarrollo industrial, el cual ha sido sustentado en gran medida por los combustibles fósiles, y que han llevado a la sociedad a un crecimiento exponencial que no puede ser sustentado actualmente por ninguna otra energía. El consumo de energía cada día aumenta en el planeta, y este a su vez, no tiene los recursos suficientes para sustentarlo, el consumo es mucho mayor que la oferta lo cual no debería ser así, por lo que en definitiva nos da a entender que la Tierra se está explotando de una manera abrumadora y descontrolada, y muy seguramente llegará un punto crítico en el cual se presentará una crisis mundial, para lo cual habrá que recurrir a fuentes de energías alternativas que de algún modo sustenten esa crisis futura.
- ✓ Las energías alternativas son energías limpias y renovables, lo que quiere decir que su origen es continuo y que los efectos secundarios sobre el medio ambiente son menores que los que producen los combustibles fósiles. Todo proceso de generación de energía tiene efectos sobre el medio ambiente ya que de algún modo se afecta la zona donde se quiere generar energía, así que las energías renovables tampoco están excluidas de contaminación, lo que quiere decir que contaminan, pero lo hacen de un modo más amigable con el medio ambiente.
- ✓ Las energías alternativas son fundamentalmente la energía hidráulica, solar, eólica, biomasa, geotérmica y marina. Cada tipo de energía tiene características como su origen, formas de aprovechamiento, tecnologías para su explotación, entre otras, que serán estudiadas en los posteriores capítulos.

6. ASPECTOS BÁSICOS GENERALES SOBRE LAS TECNOLOGÍAS PARA LA EXPLOTACIÓN DE LA ENERGÍA.

6.1. Introducción

Para este tema se pretende realizar un amplio repaso sobre los diferentes sistemas empleados para lograr las transformaciones energéticas que convierten las energías primarias en energía final para su uso, incluyendo los rendimientos asociados a las mismas. También se analiza la relación producción-demanda, la cual es clave para entender las limitaciones en el uso masivo de las energías renovables, incluyendo algunas ideas sobre sistemas de almacenamiento de energía.

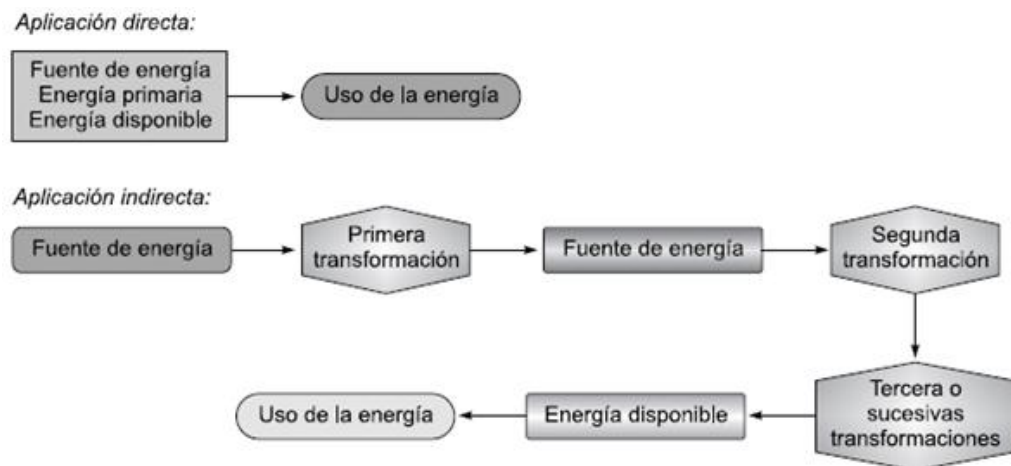
6.2. Objetivos

- ✓ Conocer el proceso general de explotación de una fuente energética, y en particular el del petróleo a título de ejemplo.
- ✓ Distinguir entre energía primaria, energía disponible y energía final.
- ✓ Identificar cuáles son los equipos empleados en transformaciones energéticas.

6.3. El proceso general de explotación de las fuentes energéticas: energía primaria y energía disponible.

El paso de la fuente de energía tal como se encuentra en la naturaleza a energía primaria, y de esta a energía disponible, involucra una serie de pasos que se han resumido en el cuadro adjunto (Figura 35). La primera transformación es necesaria para las fuentes de energías no renovables (petróleo, gas natural, carbón, uranio), que en la mayoría de los casos no pueden ser utilizadas tal como salen de la mina o del pozo. La transformación primaria permite su uso en una central, donde se ejecuta una segunda transformación (por ejemplo, el petróleo refinado y convertido en fueloil, se convierte en una segunda transformación en electricidad).

Figura 35 Pasos de transformación energética



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [64].

Una tercera transformación puede consistir en elevar la tensión de la corriente eléctrica producida para transportarla a larga distancia, y luego volver a bajar la tensión, para ponerla en disposición del usuario final (convertida, finalmente, en luz, calor, refrigeración, accionamiento de maquinaria, etc.). En lenguaje técnico, se consideran dos tipos de energías, según cuál sea el usuario o receptor de la misma. Así, se tienen:

Energía primaria, es la que se encuentra lista para ser usada en una central, tales como el carbón, petróleo, gas, nuclear, renovables (en origen).

Energía disponible, es aquella que se encuentra a disposición del usuario final (sea una vivienda, una fábrica o un avión) y que pueden ser: sólida (carbón, madera), líquida (petróleo, biocombustibles), gaseosa (gas combustible, aire comprimido), electricidad, calor (calefacción central).

6.4. Transformación de una energía no renovable en energía primaria: el caso del petróleo.

La primera etapa en la explotación del petróleo es la prospección, o búsqueda de nuevos yacimientos. Con este fin, se realizan estudios geológicos y geofísicos.

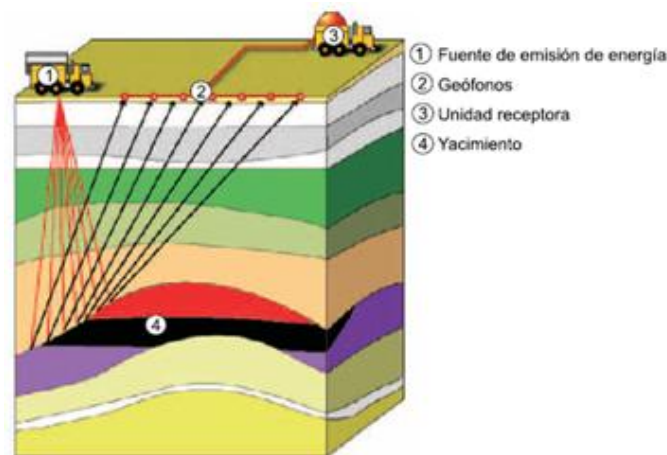
En los estudios geológicos se realizan estudios superficiales del terreno, utilizando fotografías aéreas, imágenes de satélites e inspecciones oculares directas.

Para los estudios geofísicos se utilizan diversos métodos y equipos, siendo los más importantes los gravimétricos, los magnéticos y los sísmicos. En todos ellos se busca la presencia en el subsuelo de rocas porosas o poco densas, que pudieran contener petróleo, empapado en su interior. Estos métodos también se aplican para la búsqueda de yacimientos en el fondo del mar. La técnica más empleada es la sísmica de reflexión que se basa en las modificaciones que sufre una onda que viaja por el interior de la corteza terrestre al atravesar capas de materiales discontinuos o de diferente composición (porosidad, materiales, etc.).

Como se ve en la Figura 36, la onda provocada (en la superficie o en un pozo efectuado en el interior de la tierra) termina por reflejarse en la superficie. La onda emisora y la reflejada se comparan, y así puede obtenerse un perfil sísmico del subsuelo. La experiencia acumulada y el uso de potentes simuladores, en 2D y 3D, han dado un gran impulso a esta técnica. En el caso de exploraciones en tierra

firme, la onda inicial puede originarse por una fuente explosiva, impulsiva (caída de martillo pilón, maza, etc.) o vibratoria (excitador de vibraciones). En exploraciones *off-shore*, en los fondos oceánicos, las herramientas pueden ser explosivas, implosivas, no explosivas de efecto burbuja o impulsivas sin burbuja. En este caso, las ondas reflejadas se recogen en la superficie del mar mediante unos geófonos (hidrófonos que convierten los desplazamientos mecánicos de la superficie en impulsos eléctricos).

Figura 36 Sísmica reflexión



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [66].

Una vez localizadas las zonas propicias se procede a efectuar sondeos de exploración (*wildcats*), tendentes a determinar la presencia de petróleo, la de agua, los tipos de rocas del subsuelo, la radiactividad en el mismo (indicadora de la arcillosidad), la porosidad y permeabilidad, registro de perfiles eléctricos (conductividad eléctrica), etc. Esta etapa culmina con la realización de otra serie de sondeos para determinar el potencial del yacimiento: presión, composición y temperatura del petróleo, permeabilidad, índice de productividad, volumen de petróleo extraíble, ubicación de la bolsa en el subsuelo, límites, etc. Normalmente, no más de una de cada 50 perforaciones resulta satisfactoria.

La segunda etapa: es la perforación de los pozos de petróleo, que puede hacerse por diversos procedimientos, dependiendo de la naturaleza del yacimiento y de su ubicación terrestre o marítima. Para la perforación se usa una herramienta con dientes de diamante que gira cortando el terreno accionada por un varillaje hueco desde la superficie a la vez que se va haciendo penetrar en el mismo (Figura 37).

Para la extracción de los ripios o detritus se emplea el lodo circulante, que se bombea a elevada presión desde la superficie por el interior del varillaje y sale de nuevo al exterior, con los residuos, por el hueco que queda entre el varillaje y el agujero perforado (el diámetro de la cabeza cortadora es mayor que el del varillaje). El sistema de rotación consta de un motor de corriente continua, que transmite el giro a la denominada mesa de rotación, y de ésta, mediante una varilla de sección cuadrada o hexagonal (*Kelly*), que encaja en la mesa de rotación, Figura 38, al resto del varillaje (que como se dijo anteriormente son, en realidad, tubos huecos). Cuando la herramienta de corte ha descendido la longitud de una varilla se para la rotación, se le empalma una nueva varilla y se conecta ésta al tramo de sección cuadrada, para que quede lista para una nueva rotación y descenso.

Figura 37. Brocas de perforación



Fuente: Disponible en internet: <http://img.emol.com/2013/08/30/patentes-petroleo-apple_102829-L0x0.jpg>

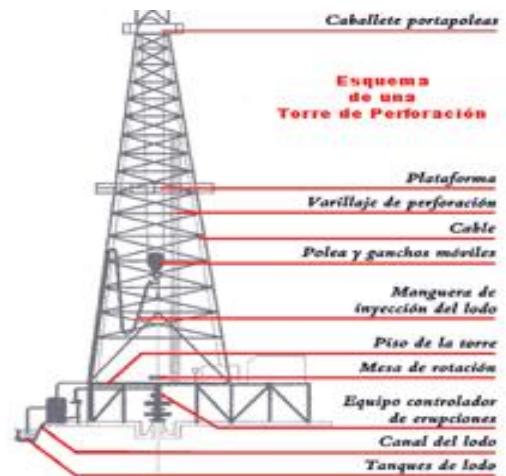
El conjunto de la herramienta de corte, el las trabarenas (*drill collar*) que aporta el peso sobre la herramienta de corte, el varillaje ligero (*drill pipe*), y la varilla cuadrada

insertada en la mesa, se denomina sarta de perforación. Para la subida y bajada de la sarta de perforación, el añadido de nuevas varillas, la entubación del pozo, etc., se usa el sistema de elevación. Éste está constituido por una torre (Figura 39) o mástil, cuya altura depende de que se diseñe para una, dos o tres varillas (en el caso de *triples*, puede alcanzar los 30 metros).

Figura 38 Mesa de perforación



Figura 39 Torre de perforación



Fuente: Disponible en internet:

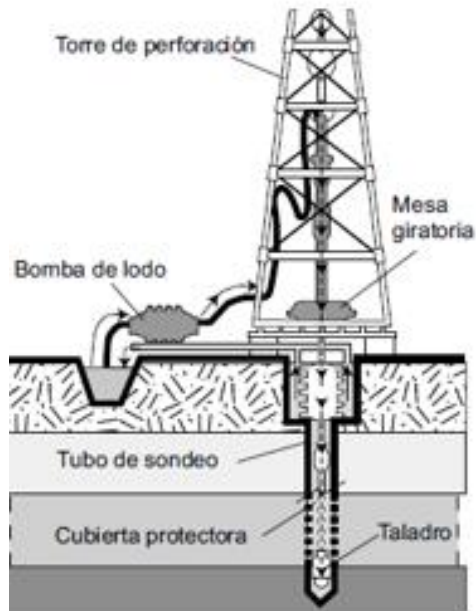
<http://4.bp.blogspot.com/_ljcmXREkRQ/TBuJzOVmRal/AAAAAAACXA/OySkjnr1SXE/s1600/torre_perforacion.gif>

La torre tiene poleas fijas y móviles para el izado de las varillas, cabrestantes y otros mecanismos para la conexión y desconexión de las varillas con rapidez y seguridad. Una parte importante del equipo de extracción es el sistema de lodos. El lodo es un fluido a base de agua o aceite, a los que se le añaden aditivos para mejorar ciertas propiedades, como la densidad, viscosidad, filtrado, pH, etc. Y cuya composición depende del tipo de detritos a extraer.

Sus funciones son las de refrigerar la herramienta de corte, lubricarla, refrigerar todo el varillaje y transportar los ripios hasta la superficie). El sistema de lodos está compuesto por las bolsas (de lodos limpios y sucios) provistas de agitadores para

mantenerlos homogéneos; las mesas vibratorias y los ciclones, para separar los ripios y recuperar los lodos; el sistema de bombeo y la cabeza inyectora, encargada de introducir el lodo por la parte interna del varillaje (Figura 40).

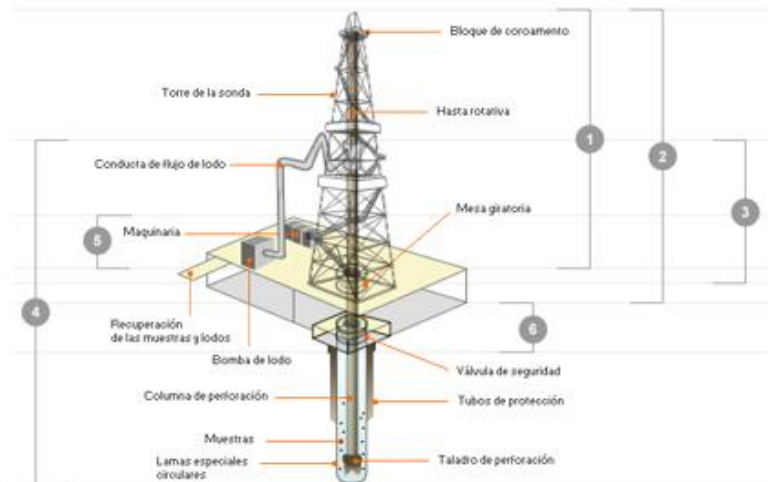
Figura 40 Bombeo de lodos



Fuente: Centrales de Energías Renovables: Generación Eléctrica con Energías Renovables [68]

Dependiendo del tipo de terreno, muchas veces, se hace preciso entubar y cementar el pozo (para evitar derrumbes y obturaciones del mismo). Para ello, una vez se ha perforado un tramo es preciso colocar una tubería de protección o revestimiento (*casing*), que luego se cimenta, por su parte exterior (inyectando una lechada de cemento entre esta y la roca). Una vez que el pozo está en situación segura, se continúa la perforación con un diamante menor (Figura 41).

Figura 41 Esquema básico del sistema de perforación



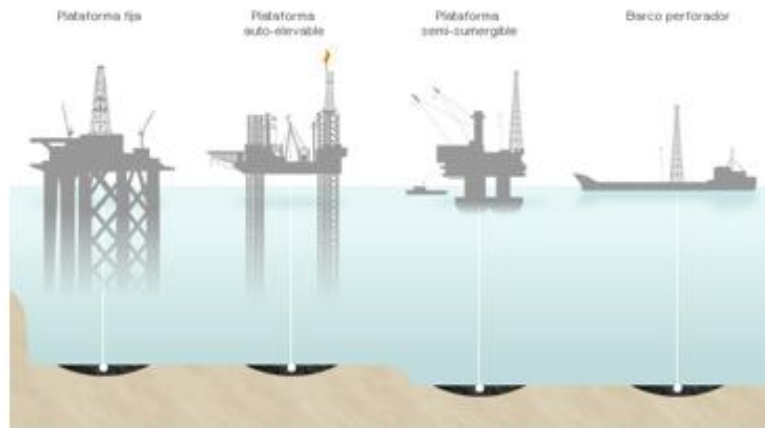
Fuente: Disponible en internet: <<http://www.galpenenergia.com/ES/agalpenenergia/Os-nossos-negocios/ExploracaoProducao/fundamentos-engenharia-petroleo/Paginas/Perforacion.aspx>>

En el caso de explotación en el mar (*off shore*), se emplean plataformas, que pueden ser fijas o móviles (Figura 42).

Las plataformas móviles se emplean principalmente en labores de explotación. Las hay de cuatro tipos:

Barcazas de fondo plano, Plataforma de casco flotante con patas telescópicas, Plataformas semisumergibles, con una doble estructura y Barcos de perforación (*drill-ships*).

Figura 42 Sistema de perforación en el mar



Fuente: Disponible en internet: <http://www.galpenergia.com/ES/agalpenergia/Os-nossos-negocios/Exploracao-Producao/fundamentos-engenharia-petroleo/PublishingImages/sondas_perfuracao.jpg>

La tercera etapa es la extracción, que se efectúa por diversos procedimientos y tecnologías, dependiendo de la naturaleza del yacimiento y su ubicación en tierra o en el mar. Según el tipo de yacimiento, la extracción puede ser primaria, en la que la propia presión del gas sobre el crudo hace que éste salga por la perforación efectuada; la extracción secundaria, inyectando agua, gas u otros líquidos para obligar a salir al crudo; la extracción terciaria, utilizando sistemas de bombeo mecánico (Figura 43).

Figura 43 Bomba de extracción de petróleo



Fuente: Disponible en internet:

<http://www.bolsalibre.es/img/medium/dreamstime_14662891_480.jpg>

La cuarta etapa es la de tratamiento primario del crudo que se somete a un proceso de estabilización, mediante el cual se separan el agua de mar y los sólidos en suspensión.

La quinta etapa es el transporte del crudo hasta la refinería (que puede encontrarse a grandes distancias del pozo). El transporte a gran escala se realiza por medio de oleoductos o por medio de buques, denominados petroleros (Figura 44).

Figura 44 Petrolero y oleoductos



Fuente: <http://elproyectomatriz.files>.



Fuente: <http://www.ultrawallpapers.org/imagenes>

La sexta etapa en el proceso de la explotación del petróleo como fuente de energía es el refinado del mismo, es decir, la separación de sus diferentes componentes. Con el refinamiento del petróleo se persiguen cuatro objetivos: su fraccionamiento (separación de los distintos componentes) mediante un proceso de destilación; la conversión de las fracciones más pesadas, de menor demanda en el mercado, en otras más ligeras, mediante un proceso denominado craqueo; la mejora de la calidad de los productos mediante un refinado final; la elevación de la calidad de las gasolinas por reformado.

La principal operación que se lleva a cabo en una refinería (Figura 45) es la destilación fraccionada, que se lleva a cabo en un proceso continuo.

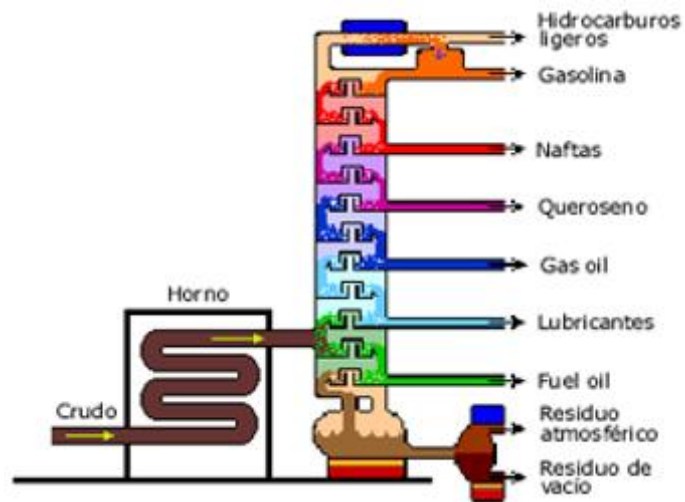
Figura 45. Cosmos



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [72].

El petróleo crudo se calienta (Figura 46) haciéndolo pasar por un alambique colocado en un horno caldeado quemando gas o petróleo. De aquí se bombea a la torre de fraccionamiento o burbujeo, compuesta por diferentes bandejas, a distintas alturas (pero que no abarcan toda la sección de la torre) donde se produce una separación natural de los componentes de acuerdo a sus puntos de ebullición. Los componentes de puntos de ebullición más bajos se convierten en vapor y van atravesando las sucesivas bandejas de la torre, al tiempo que se van enfriando.

Figura 46 Obtención de fracciones combustibles



Fuente: Disponible en internet: <<http://html.rincondelvago.com/000059720.png>>

De forma muy aproximada, los productos del fraccionamiento pueden agruparse en cuatro categorías:

Destilados ligeros (gasolina para automóviles, queroseno y otros, que no suponen más del 25% del total); destilados intermedios (aceites ligeros, gasoil y otros); destilados pesados (aceites lubricantes, ceras parafinitas, etc.) y residuos pesados (aceites lubricantes muy viscosos, fuelóleo, vaselinas, asfaltos, etc.).

En la figura 47. Se muestran los rangos de ebullición, el número de átomos de la cadena y alguno de los componentes más relevantes. Todas estas fracciones pasan por un proceso de refinado, destilación y separación, para proporcionar los productos comerciales más demandados.

Figura 47. Componentes relevantes del petróleo

| % Salida | Rango de ebullición (°C) | Átomos de C | Productos |
|----------|--------------------------|-------------|------------------------|
| 2 | <30 | 1 a 5 | Hydrocarburos ligeros |
| 10 a 20 | 30-200 | 5 a 12 | Gasolinas, naftas |
| 5 a 20 | 200-300 | 12 a 15 | Queroseno |
| 10 a 40 | 300-400 | 15 a 25 | Gasoil |
| Residuo | 400+ | 25+ | Lubricantes, alquitrán |

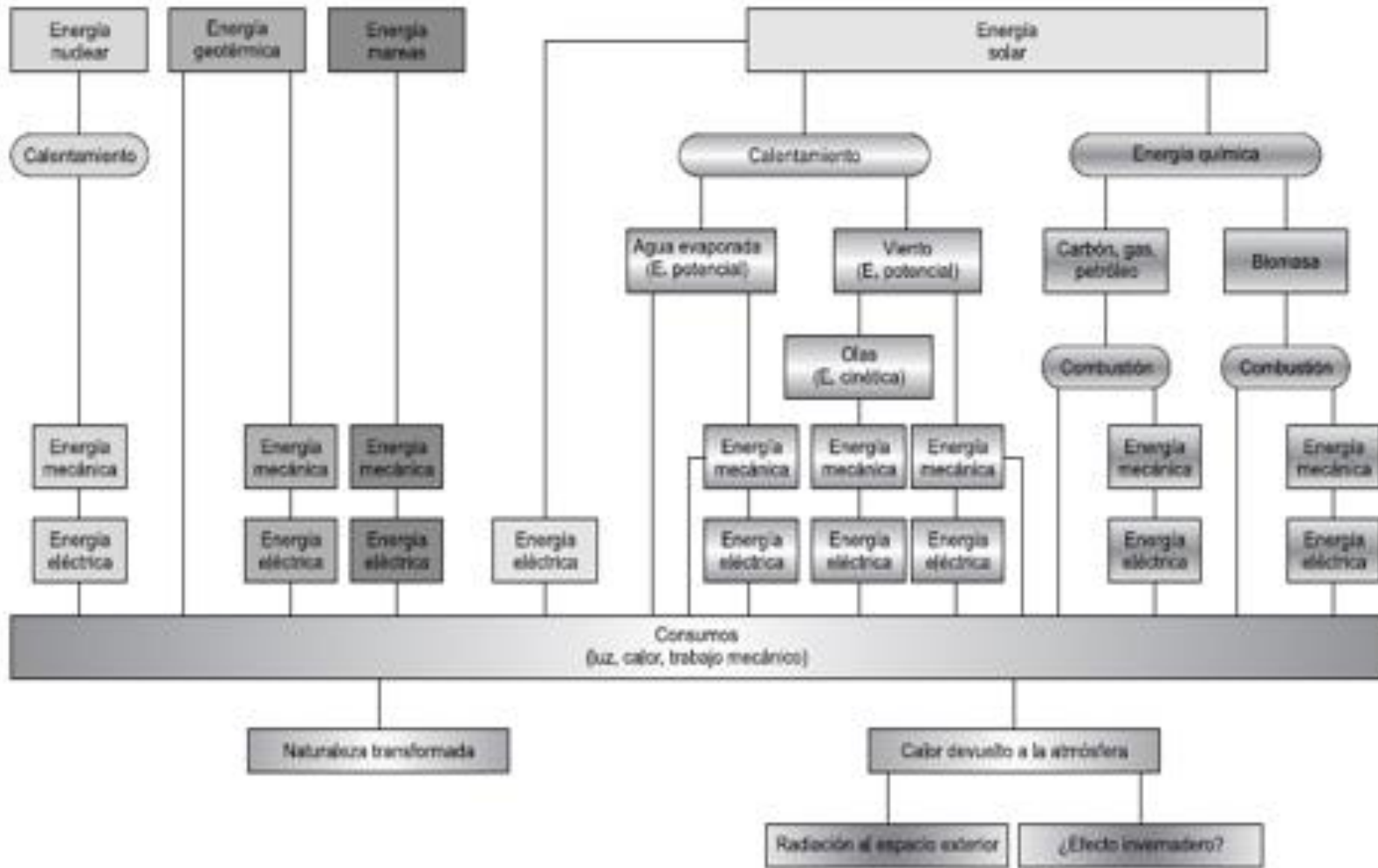
Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [73].

La séptima etapa es el traslado de todos estos productos desde los depósitos de la refinería hasta la central de generación eléctrica, operación que se realiza por medio de camiones cisterna, tuberías o barcos petroleros.

6.5. Transformaciones de la energía primaria.

En la Figura 48 se resumen las transformaciones energéticas (de la energía primaria) más usuales.

Figura 48. Transformaciones energéticas más usuales



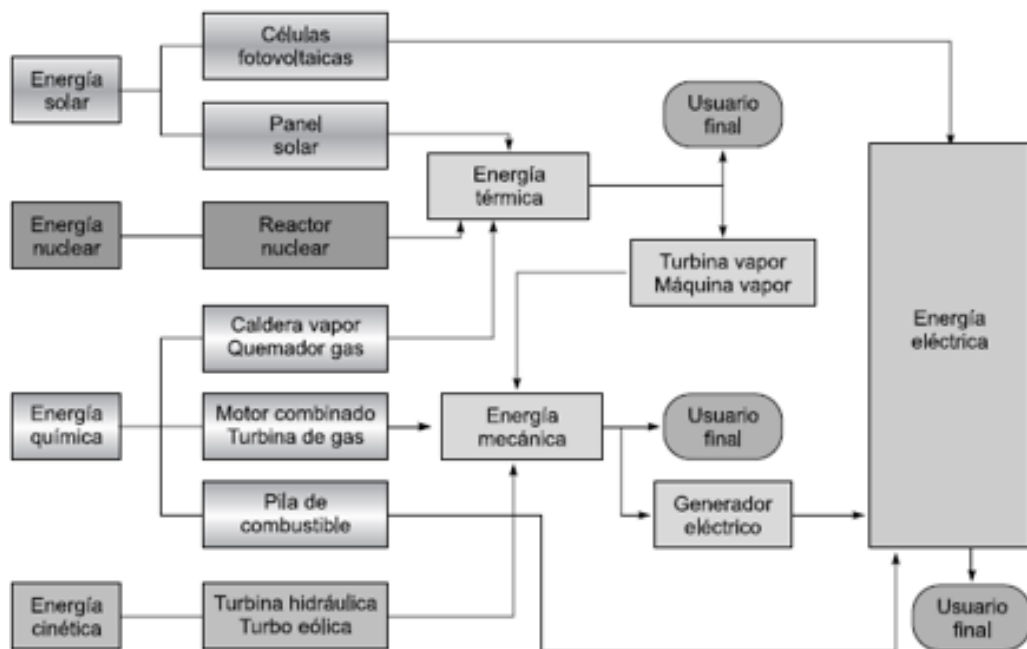
Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [74].

Para la ejecución de todas estas transformaciones se recurre a un conjunto de equipos (Figura 49), tales como:

- ✓ Energía química a energía térmica.
 - Caldera de vapor o quemador de gas.
- ✓ Energía química a energía mecánica.
 - Motor de combustión interna.
 - Turbina de gas.
- ✓ Energía térmica a energía mecánica.
 - Turbina de vapor.
 - Máquina de vapor.
- ✓ Energía térmica a energía térmica.
 - Intercambiador de calor.
- ✓ Energía nuclear a energía térmica.
 - Reactor nuclear.
- ✓ Energía mecánica a energía eléctrica.
 - Generador eléctrico (de corriente continua (CC), de corriente alterna (AC), tanto síncrono como asíncrono).
- ✓ Energía química a energía eléctrica.
 - Pila convencional.
 - Pila de combustible.
- ✓ Energía eléctrica a energía térmica.
 - Calentador eléctrico.
- ✓ Energía eléctrica a energía mecánica.
 - Motor eléctrico (de corriente continua (CC), de corriente alterna (AC), etc.).
- ✓ Energía mecánica a energía eléctrica.
 - Generador eléctrico (de corriente continua (CC), de corriente alterna (AC), etc.).

- ✓ Energía cinética a energía mecánica.
 - Turbina hidráulica (Kaplan, Francis, Pelton).
 - Turbina eólica (aeromotor de eje horizontal y vertical).
- ✓ Energía luminosa a energía térmica.
 - Paneles solares térmicos (diversos tipos).
- ✓ Energía luminosa a energía eléctrica.
 - Células solares fotovoltaicas.

Figura 49. Equipos empleados para transformaciones energéticas



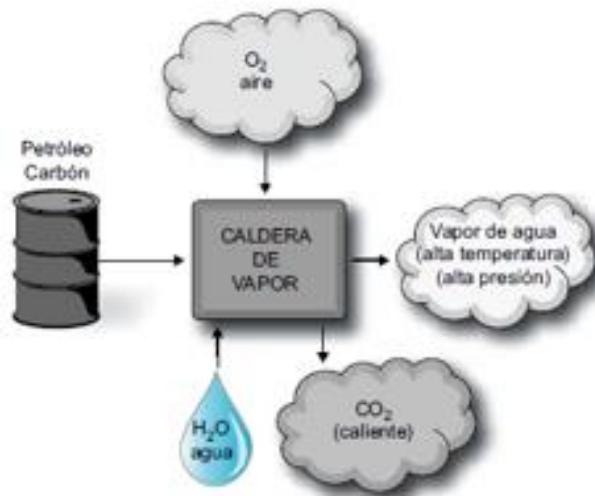
Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [75].

6.5.1. Caldera de vapor.

Conceptualmente, una caldera de vapor es un sistema que convierte la energía primaria (de petróleo, gas, carbón, etc.) en energía térmica contenida en vapor de

agua recalentado y en gases calientes, producidos en la combustión, que se escapan a la atmósfera, (Figura 50).

Figura 50 Esquema conceptual de una caldera de vapor



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [76].

Básicamente, La caldera es una máquina o dispositivo de ingeniería diseñado para generar vapor, mediante la combustión de un combustible que puede ser carbón, petróleo, gas, biomasa. Este vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia su fase.

En la práctica, una caldera de vapor consta de un contenedor en el interior del cual existe una red de tubos que tamizan las paredes de la caldera en forma de serpentín por donde circula el agua. (Figura 51 y Figura 52).

Sobre el exterior de los tubos se aplica la llama y el calor del combustible ardiendo. Con ello, el agua se calienta y se convierte en vapor, saliendo éste a alta

temperatura (por encima de los 700 °C-1.000 °C) y alta presión por la parte superior de los tubos.

Esquema de calderas

Figura 51 Combustible líquido

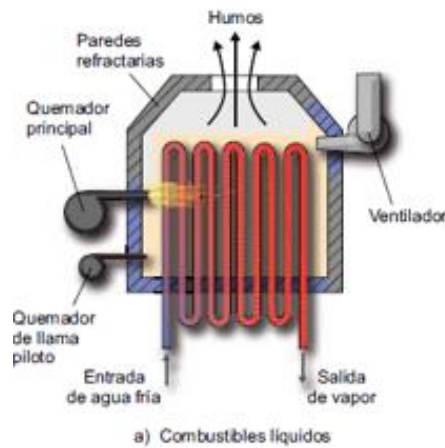
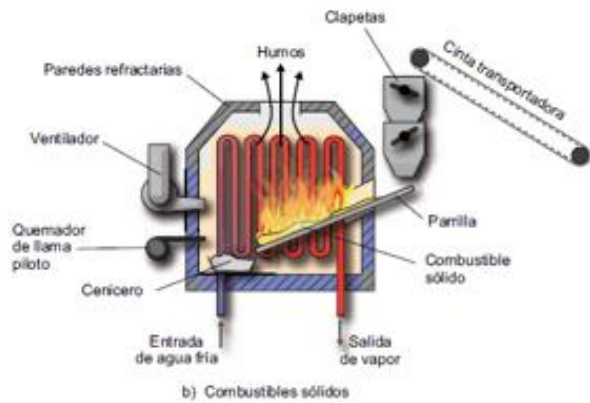


Figura 52 Combustible sólidos



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [77].

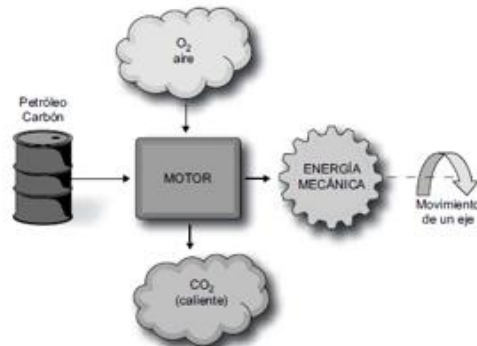
6.5.2. Motor de combustión interna (alternativo).

Conceptualmente, un motor de combustión interna (alternativo) es un sistema que convierte la energía química contenida en un hidrocarburo (petróleo, gas) en energía mecánica. (Giro de un eje con una cierta velocidad y con un cierto par) y una energía térmica de gases residuales de la combustión que escapan a la atmósfera. (Figura 53).

Básicamente, un motor de combustión interna alternativo está compuesto por un cilindro, un pistón en su interior, un eje giratorio llamado cigüeñal, y una biela que conecta al pistón con el cigüeñal, este basa su funcionamiento en el movimiento del pistón el cual es transmitido por medio de la biela al eje principal del motor o

cigüeñal, donde se convierte en movimiento rotativo, el cual se transmite a los mecanismos de transmisión de potencia (caja de velocidades, ejes, diferencial, etc.) y finalmente a las ruedas, con la potencia necesaria para desplazar el vehículo a la velocidad deseada y con la carga que se necesite transportar.

Figura 53 Esquema conceptual de un motor de combustión interna



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [79].

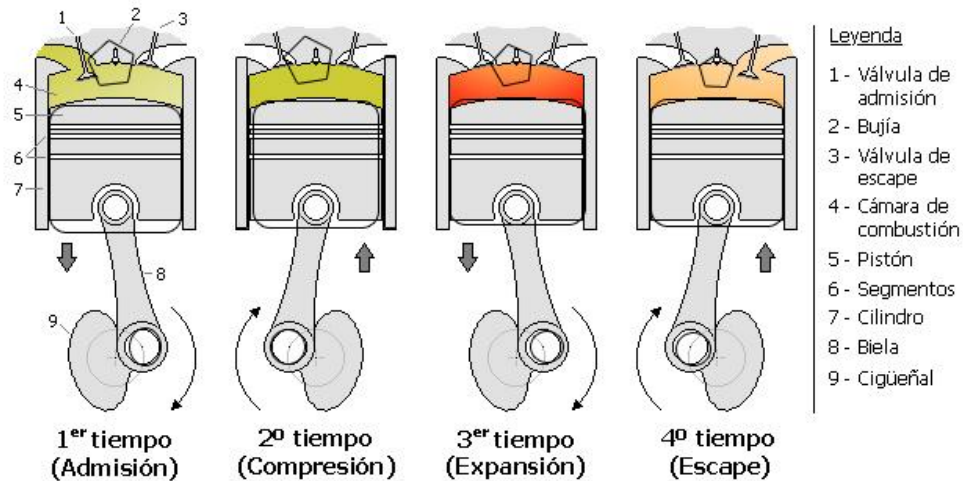
Mediante el proceso de la combustión desarrollado en el cilindro, la energía química contenida en el combustible es transformada primero en energía calorífica, parte de la cual se transforma en energía cinética (movimiento), la que a su vez se convierte en trabajo útil aplicable a las ruedas propulsoras; la otra parte se disipa en el sistema de refrigeración y el sistema de escape, en el accionamiento de accesorios y en pérdidas por fricción.

Según el sistema de llenado y vaciado, los motores pueden ser de cuatro tiempos y de dos tiempos y según el sistema de encendido de la mezcla, de encendido provocado (por una bujía que hace saltar una chispa) o de autoencendido (cuando la mezcla alcanza una cierta presión, y con ella, una alta temperatura, se produce su inflamación espontánea).

El funcionamiento de un motor de cuatro tiempos puede verse en la Figura 54. En el primer tiempo (primer medio giro del cigüeñal), se produce la entrada de aire y

combustible en el cilindro. La válvula de admisión (A) está abierta y la de escape (E), cerrada. Cuando el pistón llega a la parte baja, se cierra la válvula de admisión.

Figura 54 Funcionamiento de un motor de cuatro tiempos



Fuente: Disponible en internet: <<http://ngfgiihh.blogspot.com/>>

En el segundo tiempo (segundo medio giro del cigüeñal), el pistón sube, comprimiendo los gases encerrados entre la parte alta del pistón y el fondo del cilindro (este trabajo de compresión de los gases se efectúa a expensas de la energía cinética acumulada en los elementos móviles del motor, que obviamente disminuirá algo su velocidad).

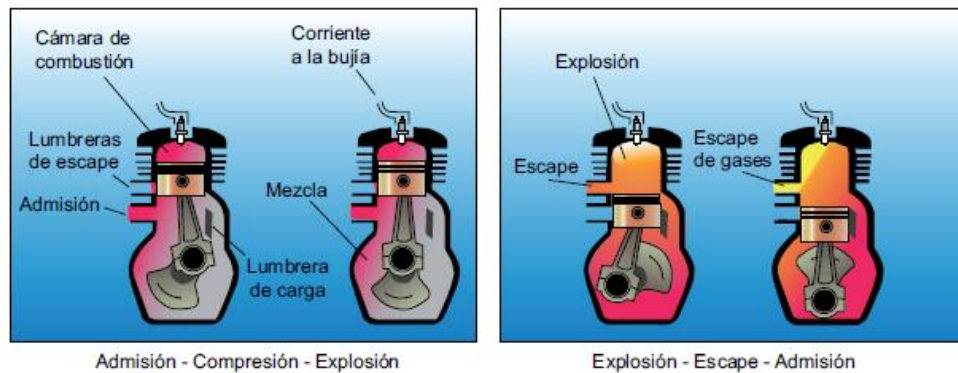
El tercer tiempo se inicia cuando el pistón está en la parte superior y la mezcla comprimida. En este momento se produce la ignición y la mezcla arde casi instantáneamente (provocándose una auténtica explosión). La presión en el interior de la cámara aumenta fuertemente y el pistón es impelido a desplazarse hacia abajo, empujando el cigüeñal para que gire. Esta es la única carrera en la que se transfiere energía del combustible al cigüeñal.

En el cuarto y último tiempo se produce la expulsión de estos gases al exterior. Se abre la válvula de escape E y el pistón al subir saca los gases del cilindro. Al llegar

a su parte superior se cierra la válvula de escape y el motor ha completado el cuarto tiempo de su ciclo de trabajo.

El funcionamiento de un motor de dos tiempos es más sencillo, y se produce una carrera de trabajo por cada vuelta completa del cigüeñal (Figura 55).

Figura 55 Funcionamiento de un motor de dos tiempos



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [81].

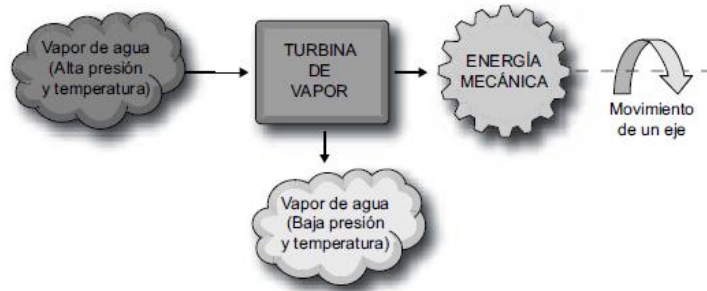
Cuando el pistón sube y comprime la mezcla aire-combustible sin quemar (compresión), la lumbrera de admisión queda abierta, y por ella entran nuevos gases al cárter del motor. El propio pistón mantiene taponada la lumbrera de escape. Cuando el pistón baja, impulsado por la explosión de los gases, llega un momento en que deja libre lumbrera de escape, produciéndose el vaciado de la cámara de combustión. Al llegar al final de su carrera descendente se libera el paso de los gases del cárter, que penetran en la cámara de combustión, iniciándose el ciclo.

6.5.3. Turbina de vapor.

Conceptualmente, una turbina de vapor convierte la energía térmica almacenada en el vapor de agua (procedente de una caldera) en energía mecánica (giro del eje de la turbina, con una cierta velocidad y un cierto par) (Figura 56). Básicamente, en

una turbina de vapor, la presión del vapor se invierte en incrementar su velocidad (chorro de vapor), y este chorro de vapor se hace incidir sobre los álabes de una turbina, haciendo que ésta gire.

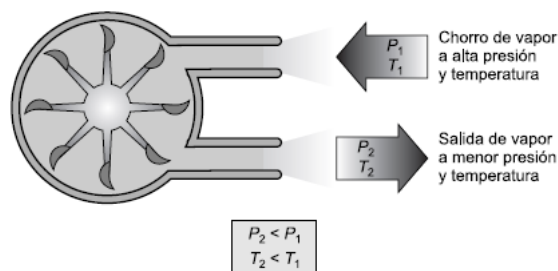
Figura 56 Esquema conceptual de una turbina de vapor



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [82].

En la práctica, las turbinas de vapor se diseñan para transferir la mayor cantidad posible de la energía del vapor al eje de la turbina, lo cual significa que la presión y temperatura a la salida de la turbina debe ser lo más baja posible (respecto de los valores de entrada) (Figura 57).

Figura 57 Esquema de funcionamiento de una turbina de vapor



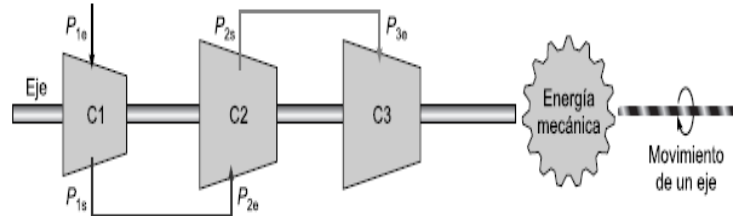
Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [82].

Como es prácticamente imposible transferir toda la energía cinética del vapor a una sola turbina, lo que se hace en la práctica es colocar una serie de éstas

(normalmente tres), unidas entre sí (sobre el mismo eje giratorio), como se ve en la Figura 58.

El primer cuerpo es el que recibe el vapor a la más alta presión (P_{1e}). Tiene centenares de álabes o paletas de pequeño tamaño. La presión a la salida de este cuerpo ha descendido a P_{1s} . En el segundo cuerpo entra el vapor a la presión $P_{2e}=P_{1s}$. Es el cuerpo de media presión. Posee también centenares de álabes, pero de mayor tamaño que los de cuerpo anterior. La presión del vapor a la salida ha descendido a P_{2s} así hasta llegar a la presión necesario para el proceso P_{3e} . Esta turbina tiene a un más alabes.

Figura 58 Esquema de una turbina de vapor multietapa



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [82]. Desde el punto de vista de la forma y disposición de los álabes, así como de la cámara por donde circula el vapor, las turbinas pueden ser de flujo axial o de flujo radial. Figura 59.

Figura 59 Rotor de una turbina de vapor

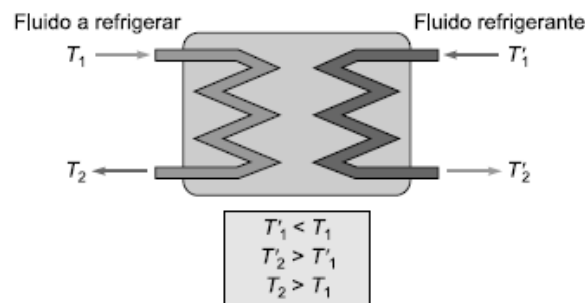


Fuente: Disponible en internet: <<http://numquattro.blogspot.com/2011/10/turbinas-vapor.html>>

6.5.4. Intercambiadores de calor.

Un Intercambiador de Calor es un equipo utilizado para enfriar un fluido que está más caliente de lo deseado, transfiriendo esta calor a otro fluido que está frío y necesita ser calentado. La transferencia de calor se realiza a través de una pared metálica o de un tubo que separa ambos fluidos. Figura 60.

Figura 60 Esquema conceptual de un intercambiador de calor



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [83].
Las aplicaciones de los intercambiadores de calor son muy variadas y reciben diferentes nombres:

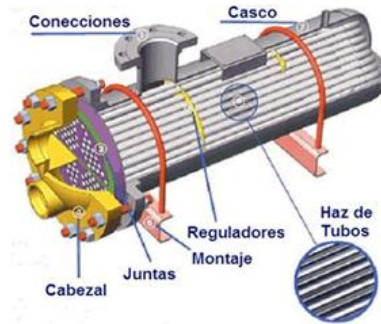
- ✓ Intercambiador de Calor: Realiza la función doble de calentar y enfriar dos fluidos.
- ✓ Condensador: Condensa un vapor o mezcla de vapores.
- ✓ Enfriador: Enfría un fluido por medio de agua.
- ✓ Calentador: Aplica calor sensible a un fluido.
- ✓ Re-hervidor: Conectado a la base de una torre fraccionadora proporciona el calor de reebulición que se necesita para la destilación. (Los hay de termosifón, de circulación forzada y de caldera).
- ✓ Vaporizador: Un calentador que vaporiza parte del líquido.

Existen diferentes tipos de intercambiadores los cuales son:

- ✓ Intercambiadores de tubería doble
- ✓ Intercambiadores enfriados por aire

- ✓ Intercambiadores de tipo placa
- ✓ Intercambiadores de casco y tubo. Figura 61.

Figura 61 Intercambiador de cascos y tubos



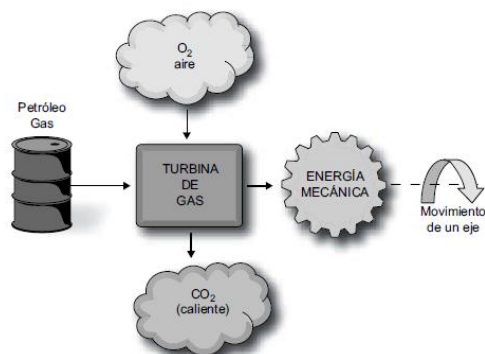
Fuente: Disponible en internet: <<http://ltguztransfe.blogspot.com/2009/05/proyecto-de-intercambiador-de-calor-de.html>>

6.5.5. Turbina de gas.

Conceptual y básicamente, una turbina como se aprecia en la figura 62. De gas es exactamente igual que una turbina de vapor.

La única diferencia es que el chorro que impacta contra los álabes es una mezcla de gases resultantes de la combustión del combustible empleado, en lugar de vapor de agua.

Figura 62. Esquema conceptual de una turbina de gas

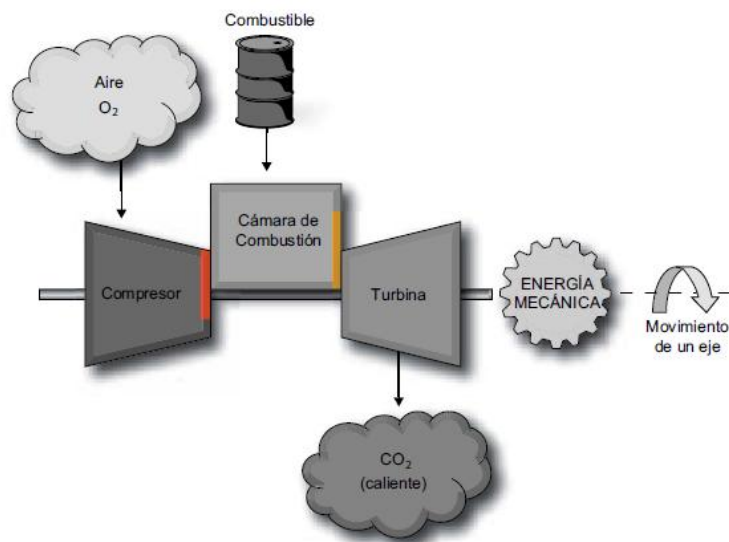


Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [85].

En la práctica, sin embargo, existe una diferencia importante, cual es que la turbina de gas posee una cámara de combustión, en la cual se producen los gases residuales, a alta presión y temperatura, que son impulsados contra los álabes. Además, en la cámara de combustión ha de introducirse un alto caudal de aire, por lo cual también precisa un compresor.

En estas turbinas, la presión atmosférica, por sí sola, no podría introducir en la cámara de combustión la gran cantidad de oxígeno que se precisa para quemar grandes volúmenes de combustible, y obtener así grandes potencias. De acuerdo con lo anterior, los componentes típicos de una turbina de gas son los mostrados en la Figura 63.

Figura 63. Componentes típicos de una turbina de gas

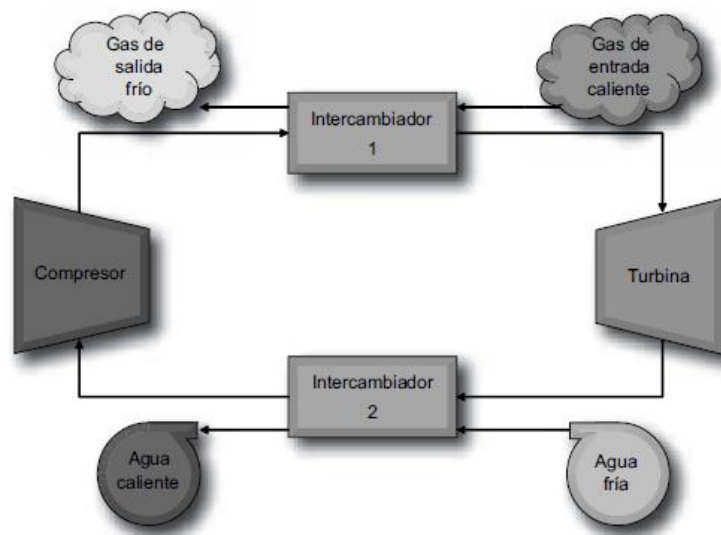


Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [85].

La temperatura de entrada de la turbina puede alcanzar los 1.200 °C y la de salida los 500 C. El esquema anterior corresponde a las llamadas turbinas de gas de ciclo abierto, en lo que el aire entra al compresor directamente de la atmósfera. También existen las turbinas de gas de ciclo cerrado figura 64, en las que las cámaras de combustión no forman parte del cuerpo de la propia turbina.

En el conjunto compresor-turbina circula un fluido de trabajo (en circuito cerrado) que es calentado por los gases de combustión en un intercambiador. El fluido de trabajo se expande y penetra en la turbina, accionándola. El fluido de trabajo sale de la turbina a menor presión y se somete a un enfriamiento (con otro intercambiador) hasta introducirlo en el compresor. En este sistema la turbina y el compresor no tienen por qué estar acoplados.

Figura 64. Esquema conceptual de un ciclo cerrado

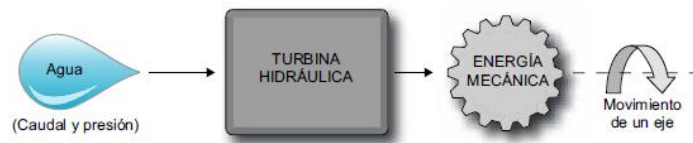


Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [87]

6.5.6. Turbina hidráulica.

Conceptualmente, una turbina hidráulica es igual a una turbina de vapor solo que en la turbina hidráulica el fluido que transfiere su energía al eje es el agua (Figura 65). En estas turbinas, la energía del agua se encuentra siempre en forma de energía cinética. Ésta es conseguida casi siempre a expensas de «dejar caer» agua de un embalse superior a otro inferior, o del curso alto de un río a otra zona del mismo a más baja cota, a través de un tubo de conducción.

Figura 65. Esquema conceptual de una turbina hidráulica



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [87].

Según la altura entre ambas cotas, y la cantidad de agua que pasa por la turbina, para una misma potencia mecánica en el eje de la misma pueden tenerse turbinas de medio caudal y poca altura (como puede ser la turbina Francis y la turbina Kaplan) o las de mucha altura y poco caudal (como la turbina Pelton. Figura 66).

Figura 66. Turbina Pelton

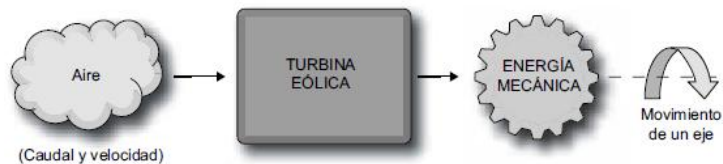


Fuente: Disponible en internet: <<http://www.zeco.it/zeco-group/zeco-turbine/turbina-pelton/?lang=it>>

6.5.7. Turbina eólica.

Conceptualmente, una turbina eólica es igual a cualquier otra turbina, solo que aquí el fluido que impacta sobre las palas del elemento giratorio es el aire en movimiento, el viento (Figura 67).

Figura 67. Esquema conceptual de una turbina eólica



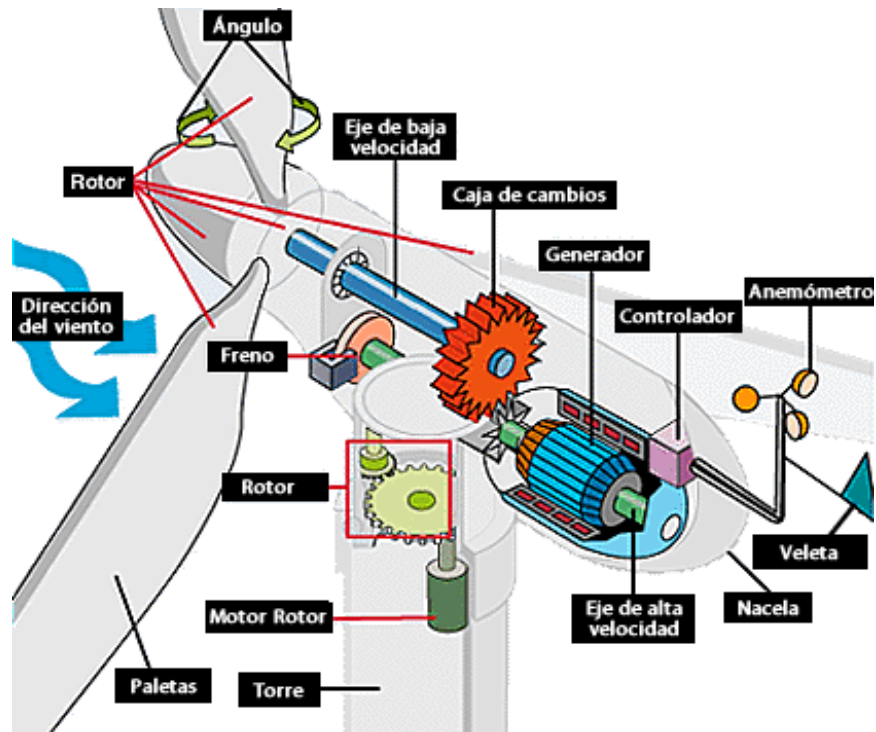
Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [88].

En estas turbinas, la energía cinética del viento es transformada en energía mecánica del eje (denominado buje), con una cierta velocidad y con un cierto par.

Técnicamente, sin embargo, las turbinas eólicas presentan sustanciales diferencias respecto de las hidráulicas o de vapor. En las turbinas eólicas, el elemento giratorio que capta la energía del viento se denomina rotor, y se compone del buje y del eje de entrada unidos rígidamente entre sí, y las palas, unidas o caladas en el buje. Figura 68.

Según el número de palas del rotor, las turbinas eólicas (o Aeroturbinas) se clasifican en rotores multipala (o rotores lentos), con un número de palas comprendido entre 6 y 24, y en rotores tipo hélice (o rotores rápidos), que pueden ser monopalas, bipalas o tripalas.

Figura 68. Componentes de una turbina eólica



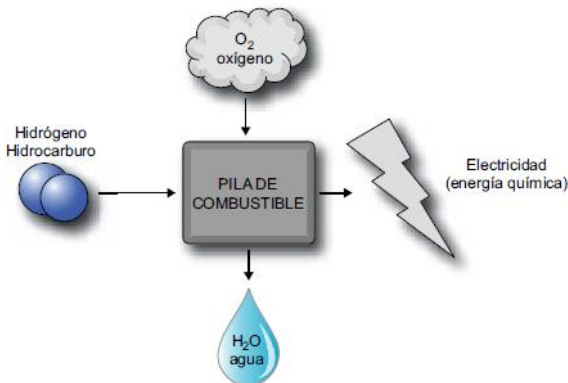
Fuente: Disponible en internet: <<http://ayamansoluciones.wordpress.com/energias-alternativas-piensa-en-verde/>>

6.5.8. Pila de combustible.

Conceptualmente, una pila de combustible es un dispositivo (electroquímico sin partes mecánicas móviles) que transforma directamente la energía química de combustibles fósiles gaseosos (gas natural o gases obtenidos artificialmente), o del hidrógeno puro, en energía eléctrica (y en calor) (Figura 69).

Las pilas de combustible están formadas por un conjunto de celdas de combustible, conectadas en serie, de manera que la tensión de la corriente (continua) de salida pueda ser elevada.

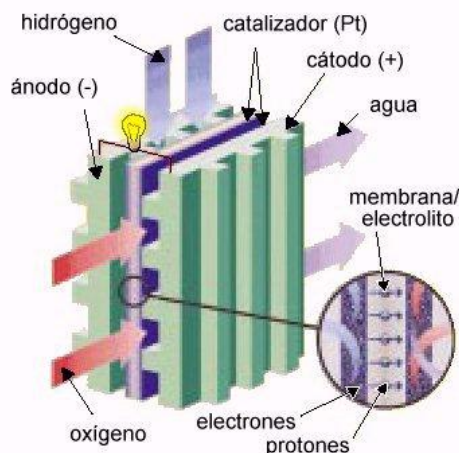
Figura 69 Esquema conceptual de una pila de combustible



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [89].

En la Figura 70 se presenta el esquema de una celda de combustible típica, formada por las dos placas colectoras (que ceden y reciben los electrones liberados), una placa catódica y otra anódica asociadas a las anteriores, sendas capas de material inerte por donde se introduce el oxígeno (aire) y el combustible (hidrógeno, por ejemplo), una membrana de intercambio protónico (que permite el paso de los iones de hidrógeno H^+ , o sea, el protón, pero no el paso de electrones ni de átomos de hidrógeno H_2), un electrolito (de varios tipos) y un catalizador (normalmente platino).

Figura 70 Pila combustible



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.cienciateca.com/fuelcells.html>>

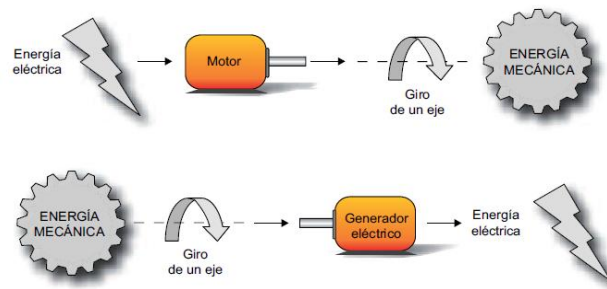
La eficiencia energética de una pila de combustible está generalmente entre 40-60%, o puede llegar hasta un 85% en cogeneración si se captura el calor residual para su uso. Por otra parte, dado que el proceso no implica la combustión de los reactivos, las emisiones contaminantes son mínimas.

Es importante establecer las diferencias fundamentales entre las pilas convencionales y las pilas de combustible. Las baterías convencionales son dispositivos de almacenamiento de energía, es decir, el combustible está en su interior y producen energía hasta que éste se consume. Sin embargo, en la pila de combustible los reactivos se suministran como un flujo continuo desde el exterior, lo que permite generar energía de forma ininterrumpida.

6.5.9. Generador/motor eléctrico.

Conceptualmente, un generador eléctrico es un sistema que convierte la energía mecánica (rotación de un eje a una cierta velocidad y con un cierto par) en energía eléctrica (que se transmite por un circuito eléctrico). A su vez, un motor eléctrico transforma la energía eléctrica en energía mecánica Figura 71.

Figura 71 Esquema conceptual de un generador/motor eléctrico



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [91].

Además un generador eléctrico es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrica entre dos de sus puntos (llamados polos, terminales o bornes) transformando la energía mecánica en eléctrica. Esta transformación se consigue por la acción de un campo magnético sobre los conductores eléctricos dispuestos sobre una armadura (denominada también estator). Si se produce mecánicamente un movimiento relativo entre los conductores y el campo, se generará una fuerza electromotriz (F.E.M.). Este sistema está basado en la ley de Faraday.

La dirección de esta fuerza electromotriz (y con ella, la dirección de la corriente), es función de la dirección del movimiento del conductor y de la dirección del campo magnético, y la da la regla de la mano izquierda.

6.5.10. Transformador eléctrico.

Se denomina transformador a un dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia. La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal (esto es, sin pérdidas), es igual a la que se obtiene a la salida. Las máquinas reales

presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño y tamaño, entre otros factores.

El transformador es un dispositivo que convierte la energía eléctrica alterna de un cierto nivel de tensión, en energía alterna de otro nivel de tensión, basándose en el fenómeno de la inducción electromagnética. Está constituido por dos bobinas de material conductor, devanadas sobre un núcleo cerrado de material ferromagnético, pero aisladas entre sí eléctricamente. La única conexión entre las bobinas la constituye el flujo magnético común que se establece en el núcleo. El núcleo, generalmente, es fabricado bien sea de hierro o de láminas apiladas de acero eléctrico, aleación apropiada para optimizar el flujo magnético. Las bobinas o devanados se denominan primario y secundario según correspondan a la entrada o salida del sistema en cuestión, respectivamente. También existen transformadores con más devanados; en este caso, puede existir un devanado "terciario", de menor tensión que el secundario figura 72.

Figura 72 Esquema conceptual de un transformador eléctrico



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [93].

Su funcionamiento se basa en el principio de inducción electromagnética, según el cual un campo magnético variable induce una corriente sobre un conductor que se encuentra en sus proximidades. La corriente alterna entrante (circuito primario) crea un campo magnético en la bobina de N_1 espiras. Este campo magnético induce una corriente también alterna sobre la bobina del circuito secundario de N_2 espiras, dando como resultado una corriente alterna en el secundario. La relación entre las tensiones de entrada y salida es inversamente proporcional al número de espiras.

$$V_2 = \frac{N_2}{N_1} V_1$$

Como la potencia eléctrica, producto de la tensión por la intensidad, se conserva ($V \cdot i = \text{Cte.}$), si la tensión de salida se eleva ($V_2 > V_1$), la intensidad disminuye ($i_2 < i_1$).

6.6. Transporte de la energía. Vectores energéticos.

Se denominan vectores energéticos los sistemas empleados para transportar la energía desde el punto de producción (central energética) hasta el punto de consumo (lámpara, calefactor, ascensor, máquina de cualquier tipo, automóvil, etc.). Según esto, pueden considerarse vectores energéticos la corriente eléctrica, el transporte de combustibles sólidos (carbón, madera, etc.), líquidos (petróleo) y gaseosos (gas, hidrógeno, etc.) y ciertos mecanismos (árboles de transmisión, mecanismos de correas y poleas, mecanismos neumáticos, etc.)

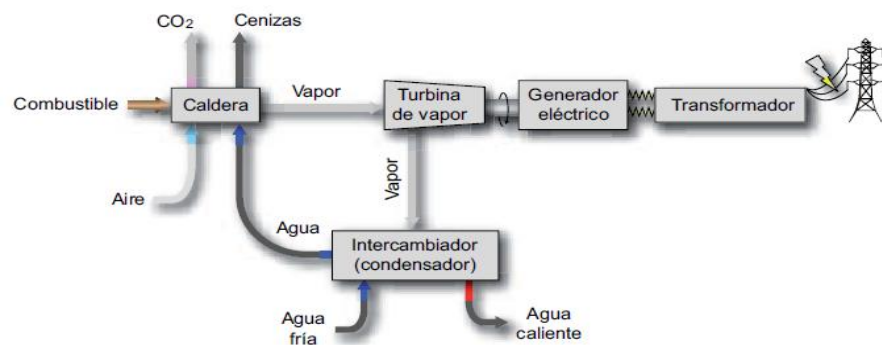
Además Ejemplos típicos de vectores energéticos son las baterías, las pilas, condensadores, el hidrógeno, el agua contenida en una represa, aunque existen multitud de variantes más, como los volantes inerciales, o incluso depósitos de aire comprimido o resortes.

6.7. Centrales energéticas.

Están formadas por su conjunto de equipos y procesos encaminados a transformar la energía primaria en energía disponible. Puede ir desde complejos conjuntos de equipos y sistemas, como pueden ser las centrales nucleares o las térmicas (que queman carbón, petróleo y gas), hasta las más sencillas, como las solares, que transforman directamente la energía solar en energía eléctrica, algunas centrales energéticas (Figura 73) son:

- ✓ Centrales nucleares.
- ✓ Centrales térmicas (que queman carbón, petróleo y gas).
- ✓ Centrales solares, que transforman directamente la energía solar en energía eléctrica.

Figura 73. Componentes esenciales de una central térmica



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [95].

Como puede observarse, en una central de este tipo se producen una cadena de transformaciones:

En primer lugar, la energía del combustible (petróleo, gas o carbón) se transfiere al agua que se introduce en la caldera, convirtiéndola en vapor a alta presión y temperatura. Parte de la energía se va a la atmósfera en forma de CO2 caliente, cenizas y otros gases. Luego la energía térmica almacenada en el vapor de agua se convierte en energía mecánica en la turbina de vapor. Como el vapor sale de la turbina también a alta temperatura, la pérdida de energía es considerable (el vapor hay que enfriarlo en un intercambiador agua-vapor, para convertirlo de nuevo en agua, que se introduce en la caldera).

A continuación, la energía mecánica en el eje de la turbina se transforma en energía eléctrica en el generador eléctrico (en esta transformación, parte de la energía mecánica se transforma en calor y se pierde).

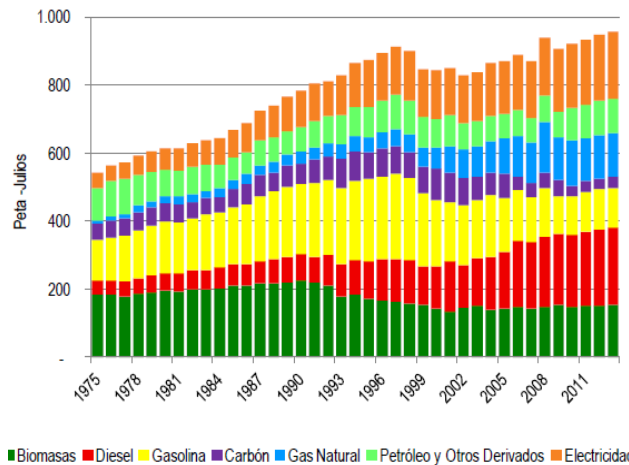
Finalmente, esta energía eléctrica es elevada en tensión (en la estación transformadora) y enviada a los puntos de consumo (donde la tensión se baja al nivel correspondiente a su uso).

6.8. Análisis técnico del uso de la energía respecto a la producción-demanda.

Los métodos para establecer previsiones de la demanda de energía eléctrica son numerosos, pero conceptualmente pueden agruparse en dos categorías. En los métodos analíticos se considera que la producción de energía está incluida en la actividad económica general, y su evolución histórica puede evaluarse como un factor de crecimiento que perdurará en la extrapolación de esta tendencia. Otro método dentro de esta misma categoría relaciona la producción eléctrica con la economía a través de un modelo econométrico que analiza indicadores y factores de ambos campos. El modelo que la experiencia internacional ha demostrado como más útil, consiste en establecer la correlación entre incrementos anuales de la producción eléctrica y algún índice macro-económico tal como el PBI. En Colombia puede verse representado el balance energético tal como en la figura 74.

La segunda categoría de métodos es la "proyección directa", que puede ampliar el conocimiento de la demanda a través de una encuesta que analice los puntos esenciales del consumo y su posible evolución. Este método es aplicable solamente en casos de pronóstico a corto plazo, y su mayor utilidad consiste en el desglose de las demandas en mensuales, diarias y hasta horarias del sistema tratado.

Figura 74 Balance energético en Colombia

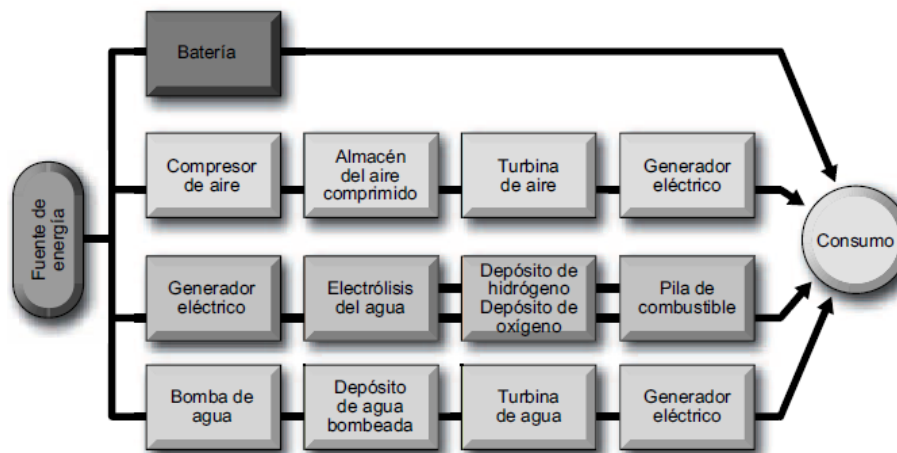


Fuente: Balances Energéticos UPME. Nota: Valores preliminares 2011-12.

6.9. Almacenamiento de la energía.

Como es de gran importancia, el tipo de almacenamiento y la durabilidad de la energía esto es uno de los principales problemas en los sistemas eléctricos generación- consumo es la diferencia entre ambos, lo que implica necesidades de regulación de la potencia de generación que conduce, en definitiva, a menores rendimientos técnicos y económicos (Figura 75).

Figura 75. Sistemas de almacenamiento de energía



Fuente: Libro, Centrales d energías renovables generación eléctrica con energías renovables [101].

Los sistemas de acumulación de energía pueden ser:

- ✓ Almacenamiento en forma de energía mecánica:
 - Bombeo hidráulico (energía potencial).
 - Aire comprimido (energía potencial).
 - Volantes de inercia (energía cinética).

- ✓ Almacenamiento en forma de energía química:
 - Producción de hidrógeno.
 - Baterías de acumuladores (electroquímica).
 - Entalpías de reacción.

- ✓ Almacenamiento en forma de energía térmica:
 - Calor sensible (incremento de temperatura).
 - Calor latente (cambios de estado).

- ✓ Almacenamiento eléctrico y magnético.

6.10. Rendimiento de las transformaciones energéticas.

Cuando se habla de rendimiento (o eficiencia de una conversión energética) es importante tener presente respecto a qué valores (o a qué etapas) se refiere el rendimiento. En especial, es importante separar el concepto de rendimiento de una máquina del rendimiento técnico global del proceso de conversión.

Se define este rendimiento técnico global como el producto de los rendimientos de las sucesivas conversiones que tienen lugar hasta el uso final de la energía. Por ejemplo, el rendimiento técnico del calefactor de un calentador por resistencia eléctrica puede ser del 100%, mientras que el de un calentador de gas es solo el 60%. Debido a las pérdidas de calor al exterior por el combustible generado (gases calientes por chimenea). Pero si se analiza todo el proceso a partir del contenido energético del gas que accionó la turbina eléctrica que produjo la electricidad, el

rendimiento del calentador eléctrico es mucho más bajo que el del gas, pues solo llega al 35%.

6.11. Tecnologías híbridas.

Para la mejora de los rendimientos energéticos de las centrales se recurre a tecnologías híbridas, mezcla de varias tecnologías simples, y que pueden englobarse en tres grupos:

- ✓ Tecnologías para mejorar el rendimiento de las propias transformaciones energéticas para la producción de electricidad.
Centrales de ciclo combinado.
- ✓ Tecnologías para mejorar el rendimiento energético por aplicación de usos diferenciados.
Centrales de cogeneración.
- ✓ Tecnologías para lograr una mayor penetración a la red (derivadas del desacople producción-demanda).
Centrales hidráulicas reversibles acopladas a centrales térmicas, eólicas.

6.12. Conclusiones.

- ✓ En esta sección se consigue aprender acerca de las formas de poder conseguir energía de las fuentes que existen a partir de la energía primaria y la energía disponible, explicando mediante un ejemplo como lo es el caso del petróleo del cual se puede obtener una gran cantidad de energía para su uso.

- ✓ Por otra parte se explicó las diferencias entre energía disponible y energía final, mostrando varias formas de transformar la energía primaria hasta su uso final.
- ✓ A su vez se determinó cuáles eran los vectores energéticos y qué relación hay con el transporte de energía.
- ✓ También se estudió las centrales energéticas con sus diferencias entre ellas además el rendimiento de las energías y el costo que podrían tener con su demanda y producción respectivamente.
- ✓ Lo último que se trato fue el potencial en Colombia de las energías, la forma de almacenamiento y se habló sobre las tecnologías híbridas.

7. ASPECTOS ECONÓMICOS Y MEDIOAMBIENTALES DEL USO DE LA ENERGÍA.

7.1. Introducción.

En este capítulo se estudiarán dos aspectos importantes con la explotación de las fuentes energéticas presentes en nuestro planeta y los efectos sobre el medio ambiente (suelo, aire y agua), así como la parte relacionada con los costes generales de la explotación e implementación de las diferentes energías, en la parte de costes es necesario tratar los costes asociados a las propias fuentes energéticas y a los costes originados por los cambios en el medio ambiente, los llamados costes externos.

Se hace necesario hacer una introducción a estos costes ya que tiene una gran influencia en los precios de la energía y el por qué se está retrasando la explotación e implementación de las energías renovables.

7.2. Objetivos.

- ✓ Tener los conocimientos de la existencia del carbono en el aire y en el mar, saber que es indispensable para mantener la vida en la Tierra y a su vez necesario para mantener el equilibrio.

- ✓ Identificar los impactos mínimos de las energías renovables sobre el medio ambiente y los aspectos relacionados directamente e indirectamente sobre él mismo.

- ✓ Conocer la causa que origina el efecto invernadero, la lluvia ácida y los efectos y consecuencias de todo esto sobre la destrucción de la capa de ozono.

- ✓ Conocer las acciones correctivas propuestas y descritas en el Protocolo de Kioto.

- ✓ Conocer y entender lo relacionado con el de coste y precio de la energía.

- ✓ Comprender la relación entre costes de la energía y la expansión en el mercado de las energías renovables.

7.3. Repercusiones sobre la biosfera a causa la explotación de las actuales fuentes energéticas.

7.3.1. El carbono, la base de toda la vida.

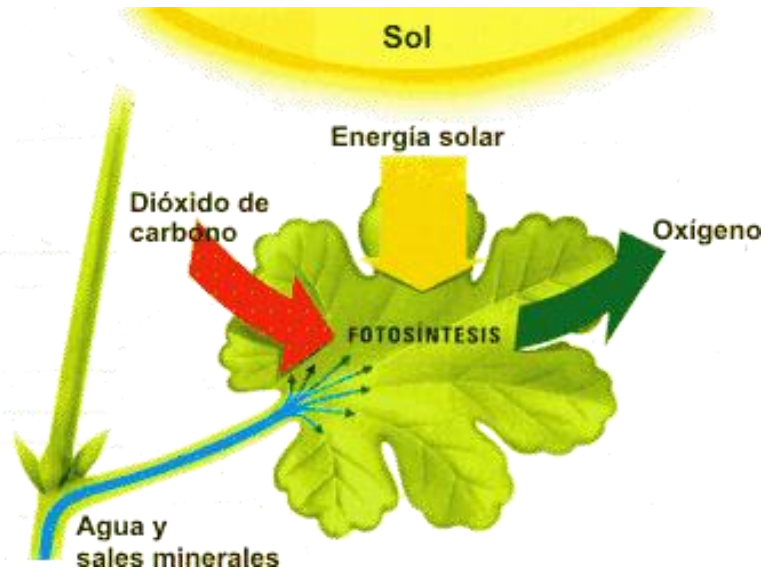
Primero se hace necesario hacer una introducción a los temas relacionados directamente con la biosfera y las repercusiones causadas por la explotación de las fuentes energéticas, algo bien conocido es que la vida en la tierra se basa en la química del carbono, en concreto se puede decir que la vida se soporta en la cantidad de carbono presente en la atmosfera, así mismo depende de los nutrientes que se hallan en la tierra y en el agua.

En nuestro planeta la vida está distribuida por escalones, siendo las plantas quienes conforman el primer escalón. Las plantas están formadas por átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno, en forma de moléculas complejas denominadas hidratos de carbono.

También contienen otros átomos y moléculas, en cantidades inferiores, como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, etc. Cuando la luz solar alcanza las hojas verdes de las plantas y se activa el fenómeno llamado fotosíntesis. Figura 76. Mediante el cual las moléculas de anhídrido carbónico (CO_2) (presentes en el aire o en el agua) se combinan con las de agua (H_2O) para formar moléculas de hidratos de carbono y así se da un desprendimiento de oxígeno.

En efecto, los procesos vitales permiten que la energía lumínica actúe sobre las moléculas de carbón y agua para que de esta manera formen estructuras más complejas.

Figura 76 Proceso de fotosíntesis



Fuente: Disponible en internet: <<http://miblogdelcolesolano.blogspot.com/2013/09/LA-FOTOSINTESIS.HTML>>

7.3.2. Energía y productividad biológica.

La productividad natural puede ser mejorada y superada con técnicas de cultivo intensivo, pero con frecuencia pueden producirse daños irreparables al ecosistema. La ganadería y la agricultura moderna, con uso de altos insumos en forma de fertilizantes, energía (maquinaria), pesticidas (herbicidas, insecticidas, fungicidas, etc.), y variedades mejoradas han logrado incrementar la productividad natural a niveles muy altos.

Sin embargo, se debe saber que cuando el manejo de las dosis de fertilizantes y pesticidas no es el adecuado, como la aplicación excesiva, aparecen daños sobre el suelo, el agua y a en la salud humana.

Por ejemplo, con la aplicación del Dicloro Difencil Tricloroetano (DDT) se han visto graves consecuencias a la fauna, flora y a la salud de los humanos. Como también es posible decirlo de al menos una docena de otros pesticidas no degradables o con un periodo muy largo de descomposición en los ecosistemas.

7.4. La contaminación y sus consecuencias.

El gran aumento de la población mundial, su concentración progresiva en grandes centros urbanos y el desarrollo industrial están ocasionando día a día, problemas al medio ambiente conocidos como contaminación ambiental. La cual consiste en la presencia de ciertas sustancias extrañas (basura, pesticidas, aguas sucias) de origen humano en el medio ambiente, ocasionando alteraciones en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas.

Los efectos de la contaminación se manifiestan por las alteraciones en los diferentes ecosistemas; en la propagación y generación de enfermedades sobre los seres vivos, muerte masiva y, en casos extremos, la desaparición de especies animales y vegetales; inhibición de sistemas productivos y, en general, degradación de la calidad de vida (salud, aire puro, agua limpia, recreación, disfrute de la naturaleza, etc.). Dentro de todo esto cabe destacar que estos causantes pueden ser de origen químico, físico o biológico.

✓ Los contaminantes químicos.

Hace referencia a los compuestos provenientes de la industria química. Pueden ser de efectos perjudiciales muy marcados, como los productos tóxicos minerales (compuestos de hierro, cobre, zinc, mercurio, plomo, cadmio), ácidos (sulfúrico, nítrico, clorhídrico), los álcalis (potasa, soda cáustica), disolventes orgánicos (acetona), detergentes, plásticos, los derivados del petróleo (diesel, gasolina, aceites, colorantes, etc.), pesticidas (herbicidas, insecticidas, fungicidas), detergentes y los diferentes abonos sintéticos (nitratos, fosfatos), entre otros.

✓ Los contaminantes físicos.

Hace referencia a perturbaciones originadas por radioactividad, calor, ruido, efectos mecánicos, etc.

- ✓ Los contaminantes biológicos.

Por último son los desechos orgánicos, que al entrar en su proceso de descomposición se fermentan y causan contaminación. A este grupo pertenecen los excrementos, la sangre, desechos de fábricas de cerveza, de papel, aserrín de la industria forestal, desagües, etc.

También es preciso tratar las diferentes formas de contaminación:

- ✓ La contaminación del aire o atmosférica: la cual es producto de los humos (industrias y vehículos), malos olores, aerosoles, ruidos, radiación atómica, polvo, etc. Es la perturbación de la calidad y composición de la atmósfera por partículas de sustancias extrañas a su constitución normal.
- ✓ La contaminación del agua: producto del vertimiento de aguas negras (industriales o urbanas), desechos mineros, de detergentes, de petróleo, de abonos, de pesticidas y otros productos.
- ✓ La contaminación del suelo: producto de los insumos, pesticidas, los abonos sintéticos, el petróleo y sus derivados, las basuras, etc.
- ✓ La contaminación de los alimentos: es originada por los productos químicos (pesticidas y otros) o biológicos (agentes patógenos). Consiste en la presencia de sustancias riesgosas o tóxicas en los alimentos, los cuales traen consecuencias para la salud de los consumidores y es ocasionada durante la producción, el manipuleo, el transporte, la industrialización y el consumo.
- ✓ La contaminación agrícola: producto de los por desechos sólidos, líquidos o gaseosos de actividades agropecuarias. Pertenecen a este grupo los plaguicidas, los fertilizantes, el estiércol, la erosión, el polvo del arado, los desechos de establos, los cadáveres y otros.
- ✓ La contaminación electromagnética: se origina por la emisión de ondas de microondas y radiofrecuencias a causa de los productos tecnológicos del mundo moderno, como televisión, radioemisoras, radares, redes eléctricas

de alta tensión y las telecomunicaciones. Se conoce también como contaminación ergo magnética.

- ✓ La contaminación radiactiva: es la resultante de la operación de plantas de energía nuclear, accidentes nucleares y el uso de armas de este tipo. También se la conoce como contaminación neutrónica, por ser originada por los neutrones, y es muy peligrosa por los daños que produce en los tejidos de los seres vivos.
- ✓ La contaminación sensorial: es la agresión a los sentidos por los ruidos, las vibraciones, los malos olores, la alteración del paisaje y el deslumbramiento por luces intensas.
- ✓ La contaminación sónica: se refiere a la producción intensiva de sonidos en determinada zona habitada y que es causa de una serie de molestias (falta de concentración, perturbaciones del trabajo, del descanso, del sueño).

7.5. El calentamiento global: sus causas y consecuencias.

Es la teoría que predice el crecimiento futuro de las temperaturas del planeta, durante las próximas décadas, a partir del incremento en el valor medio de la temperatura observado en la atmósfera terrestre y en los océanos del planeta.

La década de los noventa, fue la más caliente en los últimos mil años. El clima del planeta siempre ha variado, el problema del cambio climático es que el ritmo de estas variaciones se ha acelerado durante las últimas décadas, de manera insólita.

7.5.1. Consecuencias de la explotación de las energías fósiles en la Atmósfera.

Dentro de las graves consecuencias ocasionadas por la acción de las distintas fuentes energéticas cabe resaltar las siguientes:

7.5.1.1. El efecto de invernadero.

Por tal razón se hace necesario el tratar los efectos negativos, uno de ellos el llamado efecto de invernadero Figura 77, actualmente es uno de los grandes problemas presentes en el planeta.

Este problema es debido a que las moléculas de oxígeno O_2 se difunden en la atmósfera, y una vez son afectados por la radiación ultravioleta la cual actúa descomponiendo los átomos de Oxígeno(O_2), de los cuales algunos formaban ozono(O_3), el O_3 es un poderoso absorbedor de radiación ultravioleta y a su vez actúa como un filtro de esta radiación.

Por otra parte y como otro componente de la atmosfera se encuentra el CO_2 el cual es transparente a la luz visible (lo que significa que no absorbe energía en esa banda), pero es un gran absorbedor de radiación infrarroja. La superficie terrestre irradia calor al espacio en su totalidad en la longitud de onda infrarroja. Como una consecuencia de esto se tendría una sensación de noches mucho más frías de las habituales. El responsable que esto no sea así es el dióxido de carbono ya que este captura parte de esta energía infrarroja enviada al espacio y es radiada de nuevo por sus moléculas excitadas en dos direcciones: hacia el espacio exterior y hacia el suelo, gracias a esta última es que mantiene caliente el suelo y la atmósfera en horas nocturnas.

El vapor de agua y las nubes en la atmósfera también absorben y emiten radiación infrarroja. Por tal razón cuando el cielo está cubierto, la capa de nubes actúa como una cubierta térmica.

Figura 77 Efecto de invernadero



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.conexionnatural.org/wp-content/uploads/2011/10/>>

7.5.1.2. La lluvia ácida.

Este es uno de los efectos derivados de los combustibles fósiles, la lluvia ácida envuelve cualquier forma de precipitación que se presenta por elevadas concentraciones de ácido sulfúrico y nítrico. Es posible también que se presente en forma de nieve, niebla e incluso partículas de un material seco que se depositan sobre la superficie de la tierra. Figura 78.

Los volcanes en erupción y la capa vegetal en putrefacción expelen sustancias químicas a la atmósfera las cuales son la causa de la lluvia ácida, aunque la mayor parte de estas precipitaciones son producto de la acción de la mano del ser humano. El mayor culpable de este fenómeno es la quema de combustibles fósiles procedentes de plantas de carbón generadoras de electricidad, las fábricas y los gases de escape de automóviles.

Cuando el ser humano quema combustibles fósiles, se libera óxidos de nitrógeno (NOx) y dióxido de azufre (SO₂) a la atmósfera. Estos gases químicos al entrar en contacto con el agua, el oxígeno y otras sustancias forman soluciones diluidas de ácido nítrico y sulfúrico. El efecto de los vientos dispersa estas soluciones acídicas en la atmósfera. Cuando la lluvia ácida alcanza la superficie de la tierra, fluye gracias a que se mezcla con el agua residual y entra en los acuíferos y suelos de los cultivos.

Las consecuencias de la lluvia ácida son nocivas para el entorno, aunque su mayor efecto se presenta sobre los ríos, lagos, arroyos, pantanos y otros medios acuáticos. La lluvia ácida aumenta la cantidad de ácido en los acuíferos, lo que posibilita la absorción de aluminio que se transfiere, a su vez, desde las tierras de labranza a los lagos y ríos. Esta combinación incrementa la toxicidad de las aguas para los peces y otros animales acuáticos.

Por otro lado esta lluvia acida afecta también las selvas y bosques, principalmente los situados a una mayor altitud. Esta precipitación nociva toma los nutrientes necesarios del suelo, liberando aluminio, lo que hace difícil la absorción del agua por parte de los árboles.

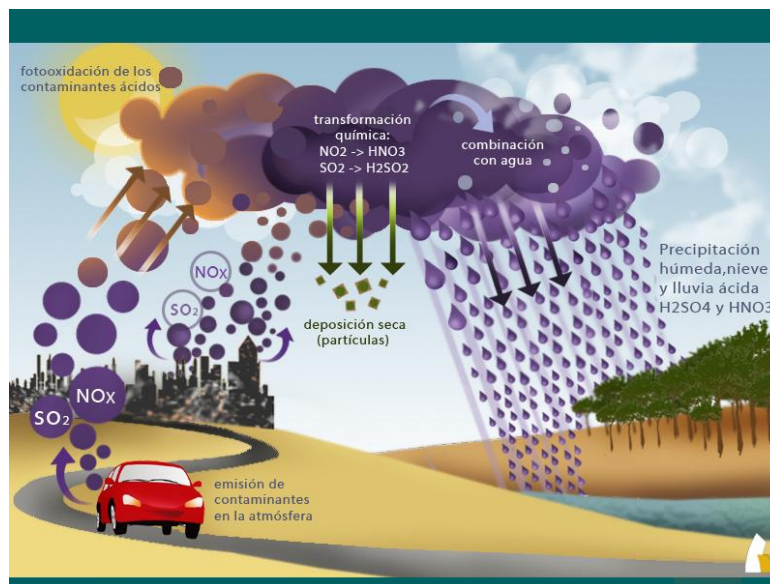
Los efectos de la lluvia ácida, en combinación con otros agentes dañinos para el medio ambiente, reduce sustancialmente la resistencia de las plantas y árboles para subsistir a las inclementes condiciones del clima y del medio que las rodea. Todos estos agentes dañinos también afectan la capacidad arbórea de reproducirse.

Una buena forma y casi la única batalla contra la lluvia ácida es disminuir las emisiones de los contaminantes que la originan. Esto significa reducir el consumo de combustibles fósiles. Muchos gobiernos han intentado frenar las emisiones mediante la limpieza de chimeneas industriales y la implementación de combustibles alternativos provenientes de las energías renovables, así como el ahorro de energía. Mientras menos electricidad se consuma en los hogares, menos químicos emitirán las centrales.

Estos esfuerzos han obtenido resultados ambivalentes. De ser posible detener la lluvia acida en estos momentos sería necesario que transcurrieran muchos años para eliminar los efectos que se han generado hasta el momento.

Los automóviles también consumen grandes cantidades de combustible fósil, por lo que los motoristas pueden reducir las emisiones nocivas al usar el transporte público, vehículos con alta ocupación, bicicletas o caminar siempre que sea posible.

Figura 78 Lluvia acida



Fuente: Disponible en internet: <<http://hangar1elblog.com.mx/>>

Estos efectos negativos de la lluvia acida también se presentan en el agua de los ríos y lagos, debido a una reducción del PH y posterior crecimiento de las algas las cuales interfieren con el paso de la luz solar que ingresa a el agua, trayendo como consecuencia una disminución del oxígeno disuelto en el agua, y posteriormente causa asfixia de las plantas y animales que allí habitan.

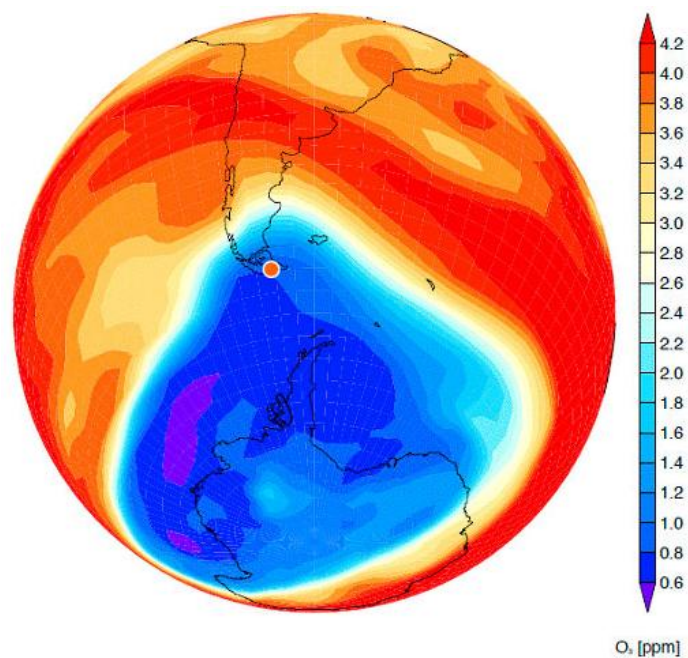
Todo lo plasmado anteriormente afecta la capa de ozono la cual es fundamental para mantener la vida en nuestro planeta Tierra, como bien sabemos esta capa es

la que nos protege de las dañinas radiaciones ultravioleta, hoy día son bastante comunes los problemas y enfermedades causados por esta perturbación en nuestro medio ambiente.

El agujero de ozono antártico alcanzó su máximo anual el pasado 16 de septiembre de 2013, según algunas estimaciones tomadas por la NASA y que se han publicado en el último boletín de la Organización Mundial de la Meteorología (OMM), sobre dicho proceso atmosférico. Concretamente, el área máxima estimada fue de 24,0 millones de Kilómetros cuadrados, lo que supone (por ejemplo) un crecimiento respecto a 2012 y 2010 pero un retroceso respecto a 2011.

En la Figura 79. Podemos ver el cambio de la capa de ozono en la región de la Antártida la cual alcanzó su máximo anual el 16 de septiembre de 2013, mostrando una estabilización.

Figura 79 Capa de ozono en la Antártida.



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.cazatormentas.net/index.php/noticias-de-meteorologia-mainmenu-2/>>

Estos datos son obtenidos a partir de observaciones en tierra y de valores recogidos por globos y satélites meteorológicos, según el Programa de Vigilancia Global de la OMM, que cuenta con una extensa red de estaciones en el continente antártico.

7.5.1.3. El smog fotoquímico.

Por último hemos de tratar un fenómeno típico de las grandes urbes, generado por las excesivas emisiones de contaminantes del tráfico urbano y los efectos de las radiaciones solares: el smog foto-químico. Las ciudades que gozan de un clima soleado y tienen una elevada densidad de tráfico, se ven especialmente afectadas. Este smog fotoquímico se origina a partir de los óxidos de nitrógeno, los cuales proceden de los gases de los tubos de escape de los automotores y de los hidrocarburos presentes en el aire. Una vez en la atmósfera, reaccionan gracias a la energía de la luz solar. Su componente más dañino es el ozono troposférico (O_3), que lejos de resultar beneficioso como el estratosférico, que a gran altura nos defiende de las radiaciones ultravioleta, provoca irritaciones en los ojos, en las mucosas y en el sistema respiratorio, también causa gran daño sobre la vegetación. Otro contaminante secundario que también se genera en este tipo de reacciones es el nitrato de peroxiacetilo (PAN).

El smog fotoquímico se puede observar sobre todo al mediodía, cuando los procesos fotoquímicos han logrado producir los gases irritantes. Al bajar el sol, o soplar un fuerte viento, desaparece el problema. Esto provoca el estancamiento del aire y la permanencia de los contaminantes en las capas más bajas de la atmósfera, debido a su mayor densidad. El smog atmosférico se divide en dos clases:

- ✓ Smog Industrial: Se produce por los contaminantes primarios que son emitidos por las chimeneas de las instalaciones de combustión para generación de calor, procesos industriales o energía eléctrica.
- ✓ Smog Fotoquímico: Se origina por la producción de Contaminantes Secundarios. Las reacciones fotoquímicas se producen cuando la mezcla de

óxidos de nitrógeno e hidrocarburos volátiles reaccionan inducidos por la luz solar, en un complejo sistema de reacciones que forma ozono. El ozono es una molécula que sigue reaccionando con otros contaminantes presentes en el aire.

Entre las posibles soluciones para la reducción de este efecto se encuentran algunos métodos y mecanismos como sigue:

- ✓ Instalación de convertidores catalíticos en los tubos de escape.
- ✓ Instalación de métodos de control por ordenador del funcionamiento del motor.
- ✓ Desarrollo y mejor mantenimiento en los sistemas en la mecánica del motor: sistemas mejorados de inyección, convertidores catalíticos mejorados, etc.
- ✓ Usos de nuevos tipos de motor entre los que cabe destacar: eléctricos, híbridos gasolina-eléctricos, de pila de combustible, hidrógeno y propulsados por gas natural.

7.5.2. Consecuencias de la explotación de las energías fósiles sobre los seres humanos.

Ahora se tratará otro tema de vital importancia, que corresponde a los efectos de la explotación de las energías fósiles sobre los seres humanos, ya sean efectos de afección directa o por las variaciones en la biosfera y el medio ambiente. Desgraciadamente todos estos efectos por parte de este medio son siempre negativos. En especial los efectos que se generan de las energías derivadas de los combustibles fósiles y la energía nuclear.

Desde luego, no todas las fuentes de energía tienen los mismos efectos, yendo desde unos muy ligeros, como es el caso de todas las energías renovables, hasta los más severos como son el caso de los derivados del uso de la energía de los combustibles fósiles o la nuclear.

Entre los efectos negativos de la explotación de las diferentes fuentes de energía cabe mencionarse:

- ✓ Sobre la salud humana
 - A corto alcance (Enfermedades).
 - A largo alcance (Cáncer, etc.).
 - Impactos intergeneracionales (Daños genéticos).

- ✓ Sobre la calidad de vida
 - Pérdida de calidad de vida por humos, suciedad, etc., especialmente en ciudades con altos índices de contaminación ya sea por los autos o por las industrias.
 - Problemas psicosomáticos.

- ✓ Sobre el empleo
 - Afecta principalmente la parte agrícola luego afecto directamente al campesino.

- ✓ Sobre la distribución poblacional
 - Migración ocasionada por inundaciones, sequías, etc.

- ✓ Sobre las generaciones futuras
 - Pérdida de recursos de todo tipo, incluyendo la biodiversidad actual de nuestro planeta.

El **Smog Atmosférico** es el causante de diversas enfermedades. Algunas personas pueden presentar síntomas adversos para la salud luego de pasar, tan solo, una o dos horas en un ambiente contaminado. Aquella gente que experimenten enfermedades de pulmones o corazón son aquellos que más riesgo corren. Por eso

los ancianos son los que más expuestos se encuentran así como los niños son una presa fácil, ya que respiran con mayor rapidez y pasan más tiempo al aire libre.

7.6. La contaminación radiactiva.

Los desechos radiactivos contienen material radiactivo. Estos son generalmente subproductos de la generación de energía nuclear y otras aplicaciones de la tecnología nuclear o de la fisión nuclear, como la medicina o la investigación. Los residuos radiactivos son muy peligrosos para la salud humana y por supuesto para el medio ambiente, todo esto se encuentra regulado por agencias gubernamentales en cada uno de los países que manipulan este tipo de energías.

La contaminación de la radiación disminuye a través del tiempo, por lo que los residuos de esta energía se aíslan típicamente y se mantienen almacenados hasta que no representen ningún peligro. El período de tiempo de residuos se deben almacenar depende del tipo de residuos. Bajo nivel de residuos con bajos niveles de radiactividad por masa o volumen (por ejemplo, algunos residuos comunes radiactivas médicas o industriales) puede ser necesario almacenar durante sólo unas horas, días o meses, mientras que residuos de alto nivel (como el combustible nuclear gastado o subproductos de reprocesamiento nuclear) deben ser almacenados durante miles de años. Actualmente agrupaciones creadas para la gestión de los residuos radiactivos han hecho separación y almacenamiento de residuos de vida corta, cerca de la superficie de eliminación de baja y algunos residuos de media, y el entierro profundo o transmutación de los de vida larga y de alto nivel residuos.

El origen de la contaminación radiactiva

A continuación de enuncian las principales fuentes de donde la mayoría de los residuos radiactivos se originan y son responsable de causar la contaminación radiactiva:

- ✓ Reactores nucleares de potencia
- ✓ Los ensayos y experimentos nucleares llevados a cabo por personal de la defensa
- ✓ La producción de combustible nuclear
- ✓ Explotación y minería del Uranio
- ✓ El uso de radio-nucleídos en las industrias para diversas aplicaciones
- ✓ La eliminación de los residuos nucleares

7.7. Otras formas de impacto sobre el medio ambiente.

También existen otros impactos ambientales derivados de la producción energética. Son quizá menos importantes a nivel global, pero en ocasiones causan un gran efecto en el ámbito local.

Ni siquiera las conocidas como energías renovables están exentas de ciertos costes ambientales. Entre ellos cabe destacar:

- ✓ Los problemas originados por la deforestación que el uso incontrolado de la biomasa puede ocasionar.
- ✓ El impacto sobre el paisaje y la avifauna que pueden crear los parques eólicos.
- ✓ La invasión de espacios naturales para hacer realizar explotaciones petrolíferas.
- ✓ Los problemas causados por las extensiones de las redes eléctricas.
- ✓ La construcción de grandes embalses para producir energía hidroeléctrica supone el desplazamiento de los habitantes de la zona.

7.8. Impacto de las energías renovables en el medio ambiente.

El impacto causado por las energías renovables y por los diferentes métodos de obtención de la mismas del cual se puede decir que es mínimo, exceptuando la energía hidráulica cuya captación exige de grandes pantanos y fuertes cambios en el ecosistema, los cuales presentan elevados efectos negativos, claramente se presentan a una escala local.

Es claro que en la evaluación de los impactos están incluidos los derivados de la etapa de fabricación de los sistemas y equipos ya sean para el transporte o para la conversión de tales energías, donde también caben los impactos por la fabricación de los equipos para la explotación de las energías no renovables.

Siempre se ha sabido que las energías renovables son la mejor opción para mejorar la calidad de vida en el medio en que vivimos. Desde mediados del siglo XX, como consecuencia de una creciente preocupación por la preservación del medio ambiente, el impacto que los seres humanos tienen en él y las consecuencias nocivas de nuestras actividades en el entorno, comenzó la implantación, lenta pero progresiva, de unas energías más limpias, las Energías Renovables. En la figura 80. Pueden apreciarse las emisiones de los contaminantes en la generación de energía eléctrica.

Figura 80 Emisión de contaminantes en la generación de energía eléctrica

| Fuente de energía | CO ₂ | NO ₂ | SO ₂ | TSP | CO | HC | NU | Total |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|--------|-------|-------|---------|
| Carbón | 1.058,2 | 2,986 | 2,971 | 1,626 | 0,267 | 0,102 | NA | 1.066,1 |
| Gas natural | 824 | 0,251 | 0,336 | 1,176 | TR | TR | NA | 825,8 |
| Nuclear | 8,6 | 0,034 | 0,029 | 0,003 | 0,018 | 0,001 | 3,641 | 12,3 |
| Fotovoltaica | 5,9 | 0,008 | 0,023 | 0,017 | 0,003 | 0,002 | NA | 5,9 |
| Biomasa | 0(*) | 0,614 | 0,154 | 0,512 | 11,361 | 0,768 | NA | 13,4 |
| Geotérmica | 56,8 | TR | TR | TR | TR | TR | NA | 56,8 |
| Eólica | 7,4 | TR | TR | TR | TR | TR | NA | 7,4 |
| Solar térmica | 3,5 | TR | TR | TR | TR | TR | NA | 3,6 |
| Hidráulica | 6,6 | TR | TR | TR | TR | TR | NA | 6,6 |

Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [132].

TSP: Partículas suspendidas totales.

NA: No aplicable.

TR: Trazas de elementos.

HC: Hidrocarburos.

UN: Nuclear.

(*) Se supone cerrado el ciclo de carbono.

7.9. Impacto social y económico de los sistemas de energías renovables.

Debido a la preocupación generalizada de que uso de los combustibles fósiles contribuye al cambio climático, y si tenemos en cuenta que las entregas de muchas de estas fuentes de energía están en declive, se está viendo en el mundo actual una nueva etapa de uso de energías renovables, dado que estas utilizan recursos para la producción de la energía mucho más ecológicos, seguros y sostenibles.

7.9.1. Los impactos económicos.

La gran capacidad de los seres humanos para la extracción y posterior utilización de los combustibles fósiles ha sido el catalizador para el desarrollo tecnológico e

industrial que ha dado lugar a una prosperidad socioeconómica sin precedentes en muchas regiones del mundo. Aunque los defensores de los sistemas energéticos no renovables se sostienen y se mantienen en la posición que los combustibles fósiles seguirán siendo mucho más factibles que las fuentes de energía renovables, los defensores del medio ambiente y las organizaciones tales como las Naciones Unidas sostienen que la energía sostenible también puede tener un impacto económico positivo. Los precios de las energías renovables no son tan propensas a las continuas fluctuaciones que presenta el petróleo o el gas natural, y los sistemas de energía solar o eólica, entre otros, son y serán capaces del suministro de la energía para las regiones en vías de desarrollo o menos accesibles, las cuales pueden no tener los medios económicos o de infraestructura para utilizar combustibles fósiles. Además, las organizaciones y los diferentes expertos predicen que el aumento de sistemas de energía renovable seguirá produciendo miles de empleos en todo el mundo.

7.9.2. Los impactos sociales.

Como causa de los diversos impactos económicos y ambientales de los sistemas de energías renovables, el aumento del uso de energía sostenible probablemente es obvio que tendrá importantes consecuencias sociales también. Por ejemplo, el uso generalizado de los sistemas de energía renovable puede conducir al aumento o a la disminución de las tasas de empleo en algunas regiones, como función de su base industrial y si son totalmente dependientes de los combustibles fósiles. Otros impactos sociales podrían incluir mayor libertad de elección de los consumidores en relación con un proveedor doméstico de energía; cambiar las relaciones políticas a nivel internacional y en gran medida que ciertas naciones ponen fin a su dependencia de terceros para la energía, y las mejoras esperadas en materia de salud, ya que cada vez más ciudadanos ya no están expuestos a los desechos peligrosos y a las emisiones asociadas con los combustibles fósiles

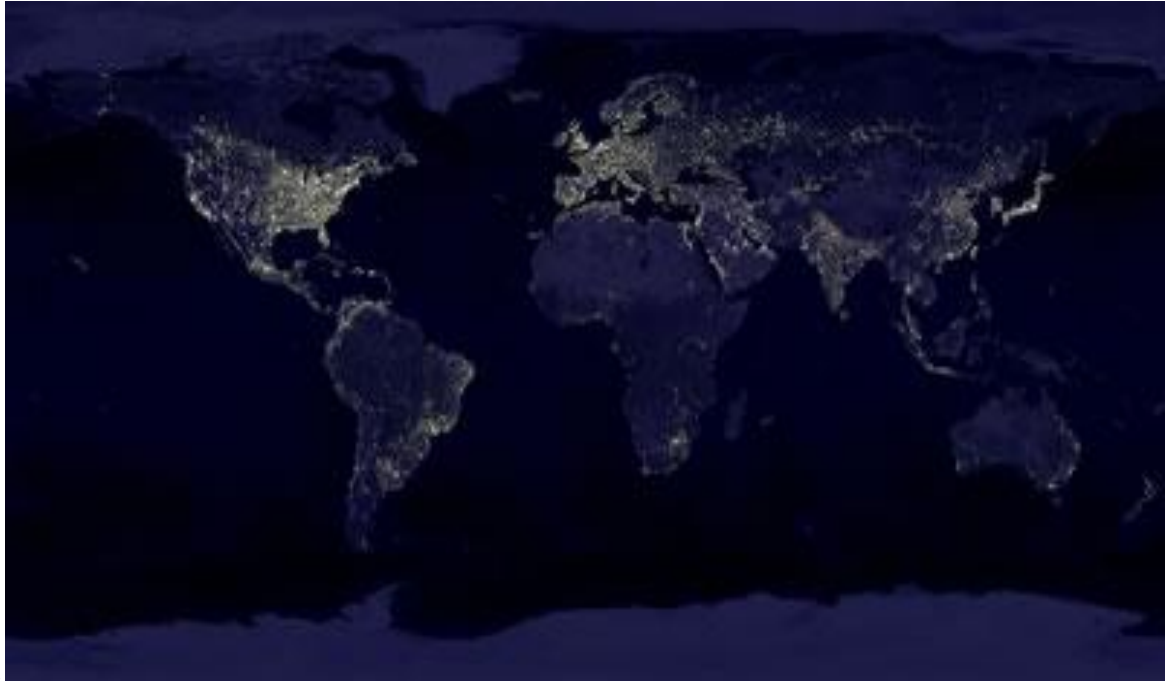
7.10. Energía y desarrollo sostenible.

Actualmente la distribución global del consumo de energía se puede apreciar con profunda desigualdad. Si tuviéramos la oportunidad de observar nuestro planeta por la noche desde el espacio, podríamos darnos cuenta de las diferencias abismales de desarrollo entre los diferentes países, con sólo observar su grado de iluminación. Percibiríamos entonces el contraste entre los países desarrollados y ricos (Norteamérica, Europa Occidental, Japón, áreas de Extremo Oriente, Sudamérica y Australia) con el inmenso vacío en cuanto a desarrollo del continente africano, donde apenas destacan las leves luces del Magreb y de Sudáfrica y el resplandor del fuego de los pozos petrolíferos, que queman el gas natural de los yacimientos, en África Occidental.

En la parte de Sudamérica apreciaríamos el poblamiento costero de y los inmensos espacios aun vacíos del interior del continente. Podríamos observar el crecimiento de la iluminación en los países del sudeste asiático, China e India, frente al descenso causado por el declive económico en algunos países del antiguo bloque soviético que aun así continúan reflejando una significativa industrialización y urbanización.

Por igual, podríamos distinguir los grandes espacios vacíos en Asia Central, el Sahara, la Amazonía, las Montañas Rocosas, el gran norte Canadiense, el despoblado australiano o el interior de Siberia y constatar la continua penetración de la civilización en esos últimos espacios cada vez menos vírgenes, observando las vías de colonización alrededor de las cuales se agrupan los nuevos núcleos de poblamiento y los efectos de los incendios forestales, cuyo resplandor es visible desde el espacio y que consumen millones de hectáreas de selva tropical. Lo anterior es posible apreciarlo en la Figura 81.

Figura 81 Reconstrucción del aspecto de la Tierra iluminada de noche



Fuente: Disponible en internet: NASA.

Se tiene una estimación que el consumo de energía en los países desarrollados es 80 veces superior al del África subsahariana. Menos de la cuarta parte de la población mundial, la que habita en el mundo industrializado, consume las 3/4 partes del total de energía disponible. En el mundo existen aproximadamente 2000 millones de personas que no tienen acceso a la electricidad y 1200 millones que no disponen de agua potable.

7.11. Protocolo de Kioto y otras iniciativas.

La situación por la se está pasando acerca del cambio climático viene preocupando a la comunidad internacional con creciente intensidad desde finales de los años 80. En 1990 fue presentado el primer informe del Panel Intergubernamental sobre el cambio climático (IPCC) el cual constituyó la piedra angular para las posteriores

negociaciones del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático aprobado posteriormente en 1992.

En la Cumbre de Río, celebrada en junio de 1992 fue establecido el objetivo para lograr una estabilización de las emisiones de gases de efecto invernadero a un nivel inferior al de 1990. El convenio Marco entró en vigor en 1994 y en 1995 se celebró en Berlín la 1ª Conferencia de las Partes.

Luego ya en el año 1997 tuvo lugar en la ciudad japonesa de **Kioto** la 3ª conferencia de las partes del convenio marco sobre el cambio climático. En esta se tuvo la intervención de 125 países que acordaron un documento, conocido como **Protocolo de Kioto**, que obliga a aquellos estados que lo ratifiquen a reducir las emisiones de los seis gases que se consideran responsables del calentamiento global:

- ✓ Dióxido de carbono (CO₂).
- ✓ Metano (CH₄).
- ✓ Hexafluoruro de azufre (SF₆).
- ✓ Hidrofluorocarbonos (HFC).
- ✓ Óxido nitroso (N₂O).
- ✓ Perfluorocarbonos (PFC).

El acuerdo establecía una reducción de las emisiones del 8% para la UE, del 7% para EE.UU. y del 6% para Japón. Mientras que las correspondientes a Rusia se mantenían inalteradas y las de otros países como Australia aumentaban un 8%.

Desde el principio el acuerdo ha contado con las reticencias, que han terminado convirtiéndose en franca oposición, de los EE.UU. y de un grupo de países que han apoyado sus tesis en mayor o menor medida, aunque con importantes variaciones en el tiempo: Rusia, Australia, Canadá y Japón (el denominado grupo paraguas).

Frente a ellos se ha situado la UE que se ha mantenido unida en su apoyo al protocolo.

Para finales de los 90 la situación se detuvo: la 4ª y 5ª Conferencias de las partes desembocaron en un fracaso que se escenificó en la 6ª conferencia, celebrada en La Haya, donde los países no lograron ponerse de acuerdo en la ejecución del protocolo.

En 2001 de nuevo hubo problemas entre EE.UU. y la UE. Posteriormente tuvo lugar la 6ª Conferencia de las Partes en Bonn y 180 países firmaron un acuerdo, Rusia, Australia, Canadá y Japón entre ellos. EE.UU., el mayor responsable de las emisiones quedó entonces solo en su postura.

En 2002 el Protocolo de Kioto recibió un importante espaldarazo con la ratificación por parte de la UE, tras su aprobación previa por los parlamentos nacionales. También se adhirió en este año el cuarto emisor en importancia del planeta, Japón. En este año se celebró además la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible en Johannesburgo, con pobres resultados para el avance en la lucha contra el cambio climático.

En 2004 se produjo la adhesión de Rusia, lo que ha permitido finalmente la entrada en vigor del Protocolo, firmado por 126 estados, que representan el 80% de la humanidad y el 44,2% de las emisiones globales.

Dentro del protocolo se establecía para los países industrializados una reducción conjunta del 5,2% de los gases de invernadero respecto de los niveles de emisión de 1990, para el periodo 2008 a 2012. Además toma en consideración los denominados sumideros de carbono.

En orden a favorecer el objetivo de la reducción de las emisiones, permite a los países firmantes una serie de mecanismos para conseguir la reducción y estabilización de las emisiones, llamados flexibles:

- ✓ El establecimiento de un mercado de compra-venta de emisiones.
- ✓ El mecanismo de desarrollo limpio.
- ✓ La implementación conjunta.

El mecanismo de desarrollo limpio permite compensar emisiones a estados con compromisos de reducción, con transferencias de tecnologías limpias a otros sin ellos. De esta forma se les descuentan a ellos las emisiones que se evitan con estas tecnologías.

7.12. Los costes de la implementación de la energía.

En cuanto a lo que respecta a los costes de la energía es preciso aclarar el significado de dos términos que a menudo los tomamos como sinónimo:

- ✓ **Coste.** Cantidad a la que ha de venderse una unidad de energía (1KWh) al usuario final para que obtenga una rentabilidad aceptable de la inversión.
- ✓ **Precio.** Cantidad que en cada instante el mercado paga por 1KWh de energía.

Cabe también dejar en claro la importancia de hablar de los costes de la energía en cuanto a la consideración de costes internos y externos. Los primeros son los vinculados al propio sistema energético, mientras los segundos son aquellos que se derivan del impacto de la explotación de una fuente energética (así como sus sistemas de transformación) sobre los seres vivos y el medio circundante. Otra manera de encerrar los costes es: costes fijos (inversiones en instalaciones, equipos, etc.), y costes variables (personal, combustibles, etc.).

7.12.1. Costes internos de la energía.

En cuanto a costes internos de la energía se deben tener en cuenta tres factores muy importantes: los costes de capital, los costes de explotación y otros costes.

- ✓ Dentro de los costes de capital:
 - Preparación, ingeniería de diseño.
 - Construcción, adecuaciones del terreno, construcción de los equipos, transporte
 - Integración (instalación, puesta a punto, conexión a la red).
 - Gestión del proyecto (supervisión, control de calidad).
 - Inversión de soporte (capital).
 - Seguros (de obra).

- ✓ Dentro de los costes de explotación:
 - Operación (combustible, alquileres, seguros, dirección y personal).
 - Mantenimiento (inspección, servicios, reparaciones, revisiones, *stocks* de recambios).

- ✓ En otros costes:
 - Overheads (costes de la superestructura de la empresa tales como directivos, administrativos, alquileres de oficina, teléfono, etc.).
 - Costes de finalización (desmantelamiento de los sistemas, en su caso).

Muchos de estos costes mencionados son variables y no inherentes al propio sistema energético, estando en relación con factores exógenos, como puede ser el coste del dinero (préstamos, intereses), punto donde se hace material la inversión, cantidad de unidades fabricadas de cada equipo, existencia de más o menos recursos en la fuente energética, etc.

7.12.2. Costes externos de la energía.

Son considerados como costes externos de la energía los que son traspasados a terceros, que no son asumidos ni por los vendedores ni por los compradores, sino un tercero perjudicado (una persona que enferma, un ayuntamiento que debe hacer frente a la contaminación producida por la explotación de una fuente energética, etc.)

Entre estos costes externos, hasta ahora no incluidos en el coste de kWh, se encuentran:

- ✓ Costes de salud
 - Enfermedades leves
 - Enfermedades graves
 - Degeneraciones genéticas

- ✓ Costes medio ambientales
 - Daños en la flora
 - Daños en la fauna
 - Cambio climático

- ✓ Costes por subsidios
 - A la investigación y desarrollo I+D
 - A la inversión
 - Otros

- ✓ Costes imputables a la probabilidad de guerras
 - Gastos militares
 - Gastos en seguridad
 - Proliferación de combustibles nucleares

- ✓ Costes psico-sociales
 - Desplazamiento poblacionales (en la construcción o por accidente)
 - Problemas psicosomáticos

El gran problema reside en la dificultad de cuantificar gran parte de estos costes indirectos y de asignarles un valor monetario. (Por ejemplo, hasta el momento se ha podido determinar, con más o menos exactitud, por medio de complejas simulaciones y medios informáticos, la elevación de temperatura debida al cambio climático. Sin embargo, el nivel de daños causado por el mismo, y su costo, ha sido imposible de evaluar).

7.13. Conclusiones.

- ✓ El medio ambiente hasta el momento no ha sido tratado como un recurso de libre disponibilidad, por el contrario, es un patrimonio de la sociedad. Aplicando ciertas políticas ambientales y consolidando que algunas de las actividades de explotar sus recursos no afecten a terceros países, cualquier estado es libre de explotar sus recursos. Pero es claro que en todos estos países deben tener en cuenta las consideraciones ambientales al establecer sus planes para desarrollo. Pocos son los países que aplican estos criterios, unos por carecer de apoyo legislativo, otros por motivos técnicos financieros o simplemente por voluntad política, etc. El resultado final de toda esta despreocupación ha sido y será los impactos ambientales no deseables. Razón por la cual se deben aplicar disposiciones preventivas que eviten los diferentes tipos de contaminación.
- ✓ De ser necesario se debe tratar conjuntamente la política ambiental y la energética, para de esta manera asegurar la protección del medio ambiente, basándose en el análisis coste / beneficio. Cuando se plantean problemas medioambientales se debe conseguir soluciones políticas a escala local, nacional e internacional.

- ✓ En relación a los problemas ambientales causados por la energía y la actividad industrial, las soluciones deberían ser: Promover el ahorro de energía, para de esta manera reducir en algo la emisión de contaminantes. Algo muy bueno es incrementar los presupuestos en investigación tecnológica, para reducir las emisiones por unidad de producción. Aumentar la producción de energía eléctrica reduciendo la contribución de los combustibles fósiles, en especial el carbono debido a la gran cantidad de emisiones de monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxido de nitrógeno, etc.
- ✓ Por último cabe destacar todas las diferentes políticas que se están tratando para mitigar estos problemas sobre el medio ambiente, la salud humana, entre otras consecuencias graves. Todo lo anterior se puede lograr con estudios e investigaciones para tener una mayor utilización de energías renovables. Reducir la contaminación ambiental originada por el transporte, sobre todo las emisiones de plomo y monóxido de carbono. Reducir la contaminación industrial, sobre todo de la industria pesada.

8. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

8.1. Introducción.

El hombre desde sus inicios en la humanidad en diferentes situaciones ha tenido al sol como una de las fuentes que más impresión han causado a diferentes religiones y culturas que han surgido a través de su historia.

El sol, siempre ha sido de una forma u otra ya sea directa o indirecta, el origen de todas las energías renovables con algunas excepciones como la energía geotérmica y la mareomotriz. Esta energía del sol es trasladada desde el espacio en forma de radiación electromagnética, que llega en gran parte a la atmosfera. De esta energía que recibe la atmosfera es dividida: una parte la absorbe la atmosfera y el suelo mientras que la energía que sobra es reflejada directamente al espacio desde el suelo. Por esta razón es que menos de la mitad de la radiación que emite el sol llega a ser efectivamente en la superficie terrestre, solo siendo esta parte la que podemos utilizar y aprovechar con fines energéticos en el planeta.

8.2. Objetivos.

8.2.1. General.

Dar un panorama claro de que es la energía solar térmica sus usos, aplicaciones y beneficios en aspectos de utilidad para el hombre y medio ambiente.

8.2.1.1. Específicos.

- ✓ Proveer al estudiante los conceptos más importantes sobre las diferentes formas de aprovechamiento de la energía solar térmica, mediante la elaboración de esta sesión.
- ✓ Instruir sobre las distintas clases de instalaciones termoeléctricas y cuáles son los principales componentes de las mismas.

- ✓ Brindar al estudiante información acerca de las infraestructuras que se tienen en Colombia para la explotación de la Energía solar térmica y cómo funcionan estas plantas solares termoeléctricas.
- ✓ Hacer una pequeña comparación entre los costos que son asociados entre la energía solar térmica y la energía eléctrica.
- ✓ Dar a conocer que impactos tanto positivos como negativos que tiene la energía solar térmica sobre el medioambiente.

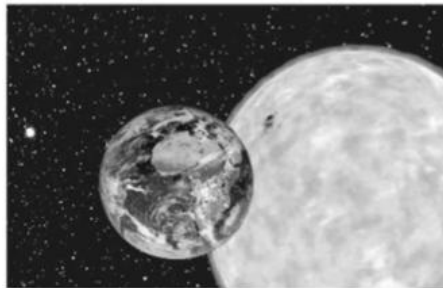
8.3. Origen de la Energía Solar Térmica.

El Sol como bien se sabe es el origen de la energía solar y de muchas otras fuentes de energía renovables. El sol es una especie de reactor de fusión nuclear que transforma parte de su masa en energía.

Ejemplo: podemos tomar la ecuación de Einstein $E = m * c^2$, donde E es la cantidad de energía que libera el sol cuando desaparece la masa y c es la velocidad de la luz.

El sol emite al espacio la energía en forma de radiación electromagnética y esta puede desplazarse en el vacío, en otras palabras, esta energía no requiere de un medio material para propagarse (Figura 82).

Figura 82 El sol y la tierra

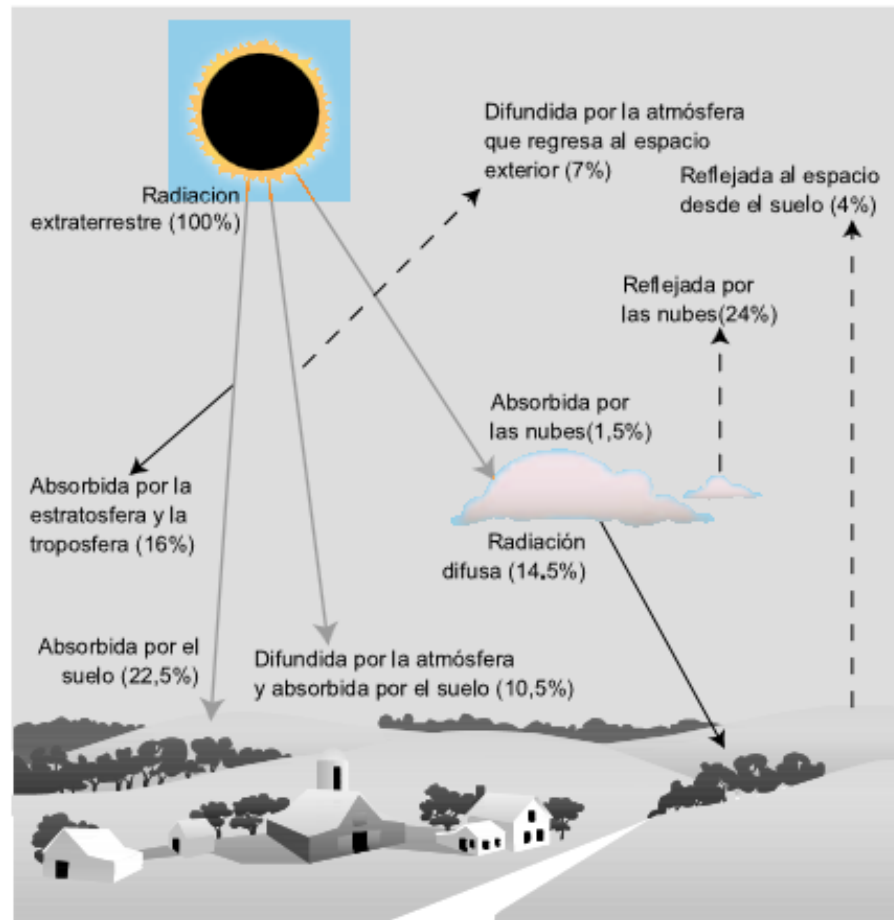


Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [152].

El sol constantemente está transmitiendo energía y esta a su vez es desplazada, una parte llega a la atmosfera en forma de radiación solar (Figura 83). De esta energía, alrededor del 16% es absorbida por la troposfera y estratosfera mientras que el 22,5% es absorbida por el suelo; cerca del 4% se refleja directamente al espacio desde el suelo. La atmosfera absorbe 17.5% de la radiación, pero el 10,5% es absorbida por el suelo y el otro 7% restante regresa al espacio exterior. Las nubes también juegan un papel importante, pues ella reflejan al exterior un 24%,

absorbiendo un 1,5% y luego envía al suelo, el 14,5%, que se absorbe por el mismo. De esta manera, el 47,5% de la radiación llega a la superficie de la tierra por tres vías.

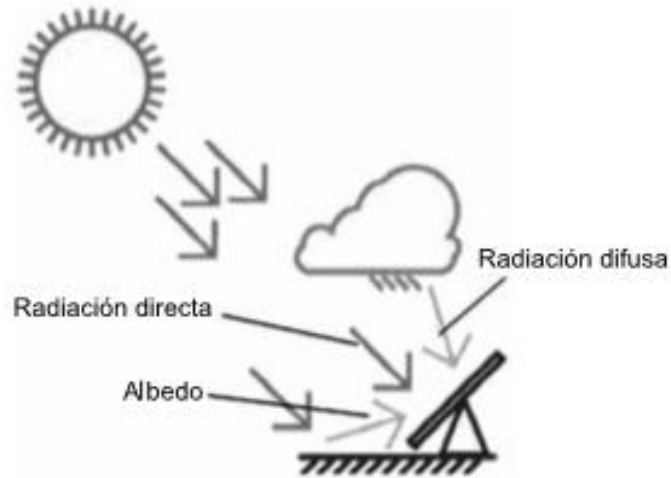
Figura 83 Energía del sol que llega a la Tierra



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [153].

- ✓ Radiación Directa: Esta radiación es la que incide sobre los objetos iluminados por el sol cuando no se ha interactuado con nada y su dirección no cambia (en un día soleado es la más importante) (figura 84). El elemento para medir la radiación directa es el Pirheliómetro.

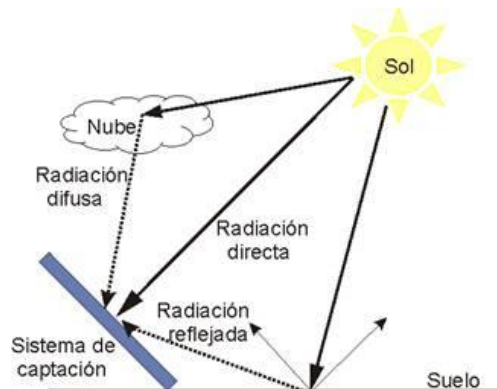
Figura 84. Componentes de la radiación solar



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [153].

- ✓ Radiación Difusa: Este tipo de radiación incide indirectamente, como un reflejo de la radiación solar que se absorbe mediante el polvo y el aire (típica en días nublados). Se produce cuando hay una desviación de los rayos solares, debido a partículas sólidas y moléculas, como el vapor de agua, que hay en la atmosfera. En la figura 85 se ve un claro ejemplo de la radiación difusa. Su elemento de medición es el Piranómetro.
- ✓ Radiación Reflejada o albedo: Es el tipo de radiación que se refleja mediante la superficie terrestre; cobra importancia donde la reflexión sea importante (Figura 85). Ejemplo (en zonas costeras y zonas con nieve). El elemento para medir este tipo de radiación es el Pirgeómetro.

Figura 85 Radiación difusa y reflejada



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.monografias.com/trabajos72/demanda-electrica-vivienda-energia-solar/demanda-electrica-vivienda-energia-solar.shtml>>

8.4. Principales usos de la Energía Solar.

A través de todos los siglos la energía procedente del sol se ha utilizado de una manera directa o indirecta en diversas actividades cotidianas (ingeniería, agricultura, etc.).

Si se ve de una manera conceptual la energía del sol puede aprovecharse energéticamente de dos formas.

- ✓ Como fuente de calor: La energía solar térmica es tanto baja como de media temperatura.
- ✓ Como fuente de electricidad: Energía solar térmica y fotovoltaica de alta temperatura.

8.5. Potencial de la Energía Solar Térmica.

La temperatura del sol aproximadamente es de 5760 K, esto quiere decir en términos energéticos de $3,84 \cdot 10^{26} \text{W}$; Sin embargo, solo una pequeña fracción de Esta energía es atrapada por la Tierra, ya que la energía que se recibe es

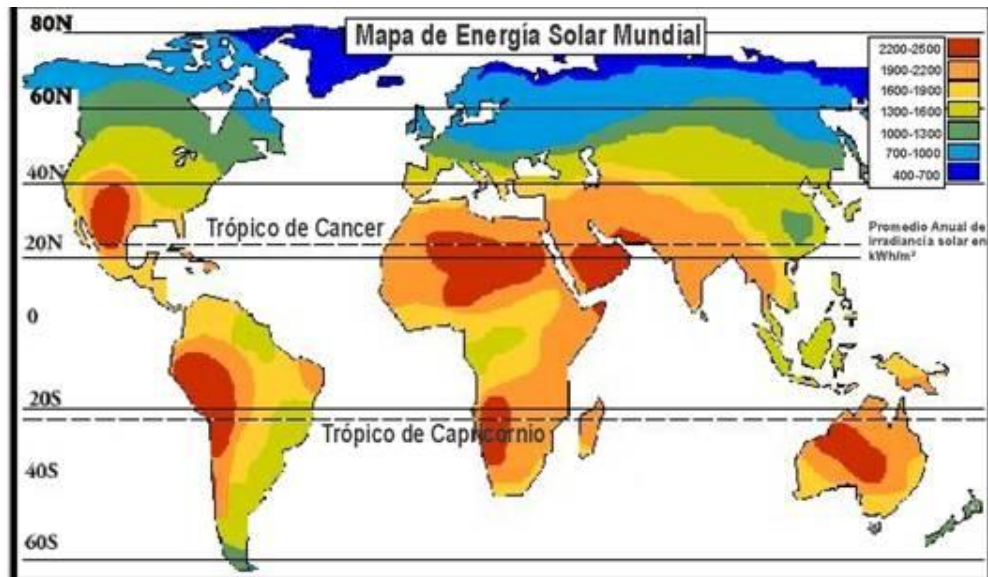
inversamente proporcional al cuadrado de la distancia al sol (150 millones de kilómetros).

Esta energía solar que llega a la tierra debe ser distribuida; sin embargo, esta distribución no es uniforme. Si se quiere determinar el potencial solar, intervienen diversos factores, que serán mencionados a continuación:

- ✓ Condiciones climáticas (cielo despejado, cielo con nubes, viento predominante, etc.).
- ✓ Época del año.
- ✓ Latitud del lugar.
- ✓ Orientación de la superficie receptora.

En la figura 86 se representa el mapa donde está estimado el promedio de la radiación solar en el mundo en vatios/m².

Figura 86 Mapa de la radiación solar en el mundo



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.monografias.com/trabajos82/energia-solar-fotovoltaica-y-sus-aplicaciones/energia-solar-fotovoltaica-y-sus-aplicaciones2.shtml>>

La tierra describe un movimiento de traslación el cual consiste en que la tierra demora 365 días terrestres en dar una vuelta alrededor del sol. El sistema solar se encuentra en un plano elíptico donde el sol está ubicado en uno de sus focos. Así mismo la tierra realiza un movimiento de rotación, el cual la tierra da una vuelta sobre sí misma en un periodo de 24 horas (1 día terrestre). El eje polar donde está ubicada la tierra en el plano elíptico posee una inclinación de $23,45^\circ$. Este ángulo de $23,45^\circ$ se denomina declinación solar (δ), y varía durante el año (Figura 87):

- ✓ Solsticio de verano ($+23,45^\circ$)
- ✓ Solsticio de invierno ($-23,45^\circ$)

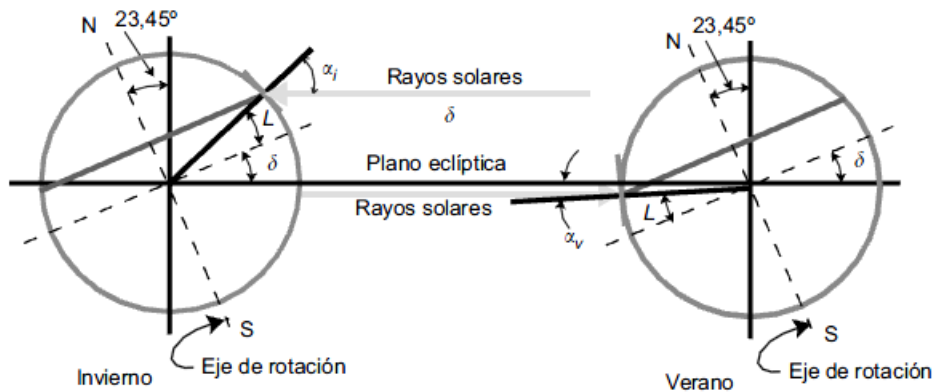
Figura 87 Movimiento elíptico de la tierra alrededor del sol



Libro: Fuente: Libro, Energías renovables y eficiencia energética [51].

Una consecuencia de la variación de la declinación solar el ángulo con que los rayos provenientes del sol inciden sobre la superficie de la tierra variara de acuerdo a la época del año y de la latitud (L) que este lugar posea. La perpendicularidad de los rayos solares, si un lugar tiene la misma latitud (L), será mayor en época de verano que en época de invierno. ($\alpha < \alpha \hat{}$). Debido a ello la energía total incidente es mucho mayor en verano que en invierno (Figura 88).

Figura 88 Incidencia de los rayos solares en época de verano y época de invierno



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [156].

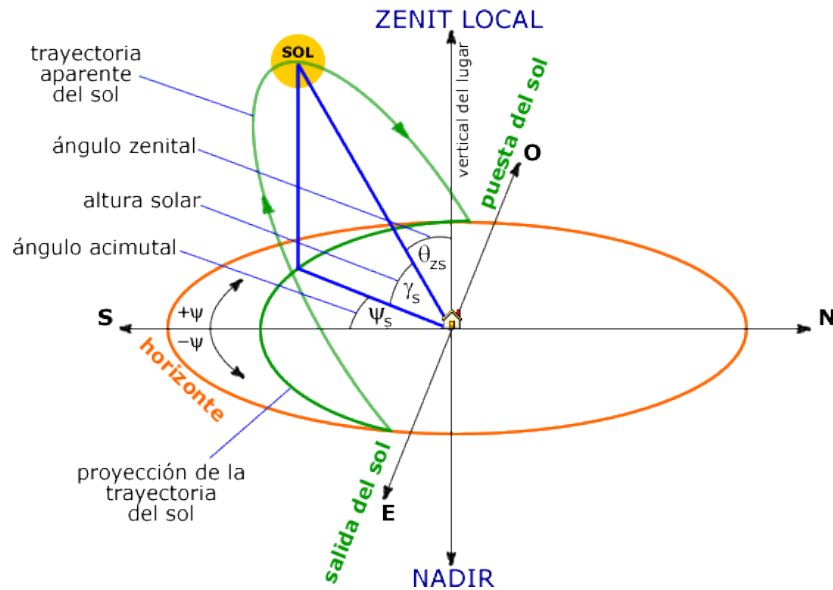
8.5.1. Coordenadas solares.

Si se supone localizar de forma correcta la posición del sol con respecto a un punto terrestre (ejemplo: un observador en tierra), esto con el fin de facilitar el entendimiento del sistema descrito en el numeral anterior, que es el sol que se mueve alrededor de la tierra (figura 89).

Si una persona desea hacer una instalación solar apropiada, debe conocer los ángulos principales de posición del sol y de sus captadores. Para eso a continuación se presentan las definiciones de dichos ángulos.

- ✓ Angulo acimut (ψ_s): Este ángulo es formado por la proyección sobre la superficie horizontal del lugar, desde la línea sol-Tierra, con respecto a la línea Norte-sur terrestre. Hay que tener en cuenta que; en el hemisferio norte se mide hacia el Sur y es positivo hacia el Oeste, siendo el hemisferio sur todo lo contrario.
- ✓ Angulo cenital (θ_{zs}): Este ángulo es el que forma la línea sol-Tierra con respecto a la vertical de su lugar. Su complemento es la altura solar (γ_s).

Figura 89 Posición trigonométrica del Sol

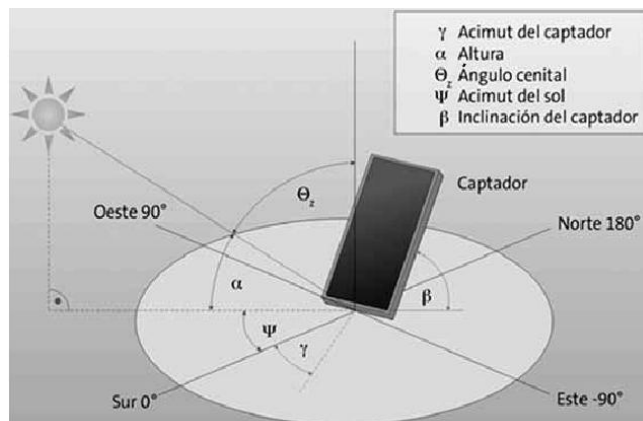


Fuente: Disponible en internet:

<http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/02_radiacion/01_basico/2_radiacion_07.htm>

- ✓ Angulo de inclinación de la superficie captadora (β): Este ángulo está definido como el ángulo que contiene a la superficie captadora con el plano horizontal. En la figura 90 se pueden divisar algunos de los términos que definen la posición de dicha superficie captadora.
- ✓ Acimut del Panel (γ): Este es el ángulo de desviación del plano cuya superficie captadora está contenida en él y es medido respecto a la línea Norte-Sur terrestre. Está regido bajo las mismas condiciones del ángulo acimutal.
- ✓ Zenit: Este es conocido como el punto del hemisferio celeste superior al horizonte. Para un mayor entendimiento este corresponde al punto de la vertical de un observador en la superficie.
- ✓ Nadir: Punto opuesto del hemisferio celeste del zenit. Si se une el punto sur del lugar de observación con el cenit se obtiene el meridiano celeste.

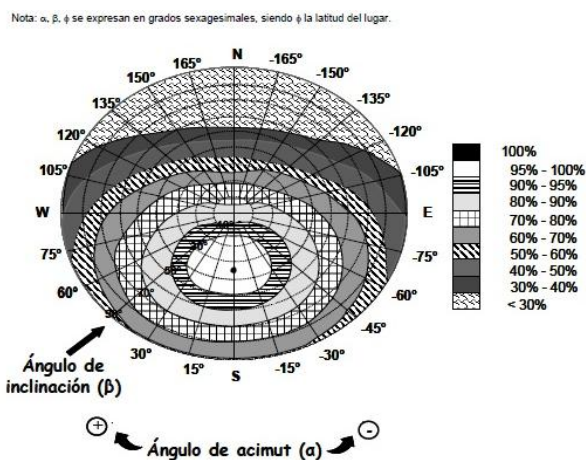
Figura 90. Ángulos significativos de la superficie captadora



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [159].

Un punto que cabe resaltar es el cual, si se varía la inclinación y orientación del plano captador respecto a la inclinación y orientación óptimas, esto producirá una disminución de la radiación anual. En la figura 91, se puede apreciar cómo se produce la variación de la energía cuando se modifica su inclinación y orientación.

Figura 91 Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas de inclinación y orientación



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.briconatur.com/briconaturblog/wp-content/uploads/2013/05/%C3%A1ngulo-de-acimut.jpg>>

8.5.2. Estimación de sombras.

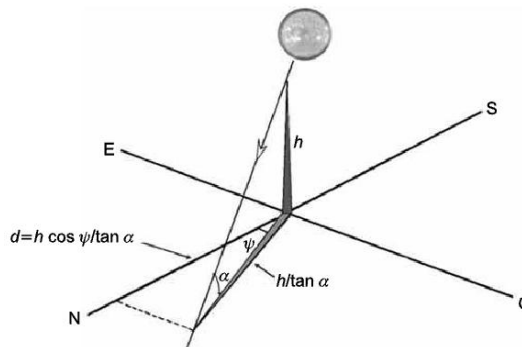
A la hora de instalar un sistema térmico o fotovoltaico pueden ocurrir ciertos factores que impiden que esta instalación se produzca eficientemente. Uno de estos factores es que el panel debe ubicarse en lo posible en un lugar donde su sombra sea prácticamente nula.

Para ello se deben tener en cuenta aspectos muy importantes:

- ✓ Nada se interponga entre la radiación incidente, en cualquier día del año y la superficie captadora solar; Para ello se debe saber la longitud de los objetos que se pueden interponer entre ellas. Esto se puede saber haciendo los cálculos pertinentes para el día del solsticio de invierno en el hemisferio norte, que es cuando la trayectoria del sol es la más baja y por lo tanto las longitudes de las sombras son más largas.
- ✓ Ejemplo: En un lugar de latitud (L), tenemos un objeto de altura (h), cuyo el sol tiene unas coordenadas geométricas (α) y acimut (ψ), y la longitud de la sombra (d), proyectada sobre la línea Norte-Sur(Figura 92), está dada por:

$$d = \frac{h \cos \psi}{\tan \alpha} \quad \text{(Figura 85)}$$

Figura 92 Sombra que es proyectada por un obstáculo



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [160].

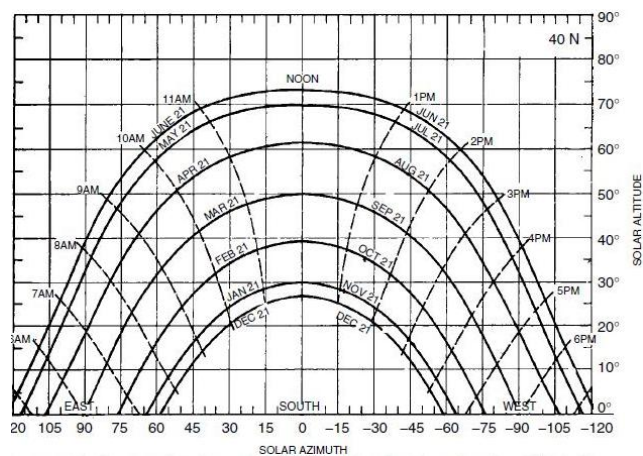
Existe una variedad de elementos que pueden proporcionar sombras debidas a la situación de la instalación, entre ellos están:

- ✓ Edificios colindantes
- ✓ Arboles
- ✓ Tendidos o conducciones aéreas
- ✓ Montañas
- ✓ Sombras del propio edificio
- ✓ Chimeneas
- ✓ Pararrayos
- ✓ Antenas parabólicas
- ✓ Estructuras diversas del tejado

Para evitar esto lo que se debe hacer es desplazar, hasta su máximo posible, la instalación para evitar el mayor porcentaje de sombras.

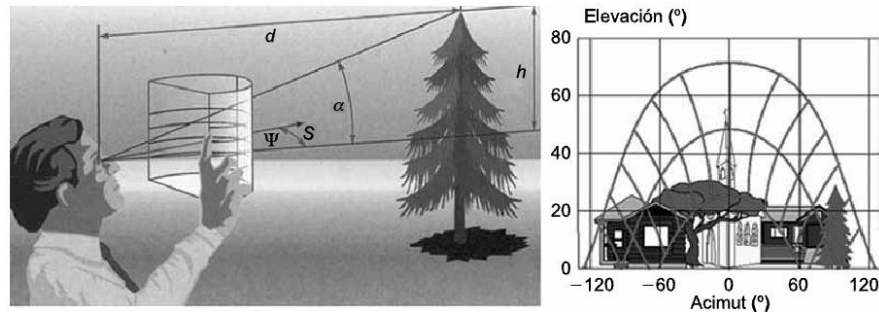
Los diagramas de trayectorias solares están divididos en bandas, las cuales a su vez tienen subdivisiones llamadas porciones, que a su vez son delimitadas por las horas solares (cabe resaltar que estas son positivas después el medio día y negativas antes de este). (Figura 93 y 94, respectivamente).

Figura 93 Diagrama de trayectoria solar para un ángulo de latitud 40°



Fuente: Disponible en internet: <http://jmirez.files.wordpress.com/2011/08/sun_path_diagrams_1.jpg>

Figura 94 Diagrama de la trayectoria del sol



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [161].

El CTE (Código técnico de la Edificación), proporciona una tabla que marca las pérdidas que son admisibles en los paneles solares de acuerdo a las sombras como se ve en la figura 95.

- ✓ Casos Generales
- ✓ Ubicación paralela al edificio
- ✓ Sustituir elementos constructivos convencionales

Hay que tener en cuenta como un punto importante que las pérdidas no deben sobrepasar los límites impuestos por la tabla anterior; Sin embargo existe la posibilidad de que esto sea incumplido, siempre y cuando se justifique las pérdidas y queden reflejadas en los cálculos del proyecto a realizarse.

Figura 95 Pérdidas admisibles en paneles solares térmicos

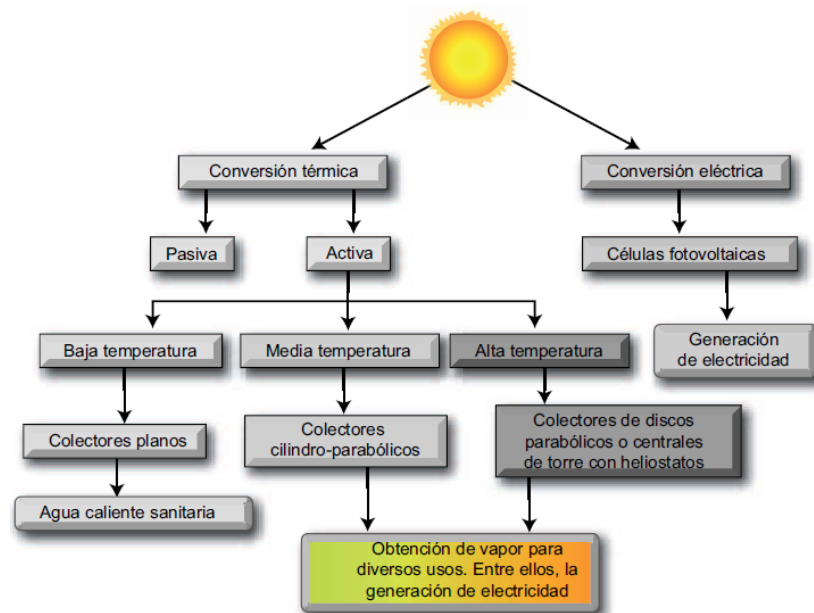
| | Orientación e Inclinación (OI) | Sombras (S) | Total (OI + S) |
|-----------------------------------|--------------------------------|-------------|----------------|
| General | 10% | 10% | 15% |
| Superposición | 20% | 15% | 30% |
| Integración arquitectónica | 40% | 20% | 50% |

Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [164].

8.6. Uso de tecnologías en la energía solar térmica.

Han existido diferentes procesos a la hora de captar la energía solar directa y a su vez para convertirla en una forma eficiente. En estos momentos el proceso más óptimo está dividido en dos direcciones (figura 96).

Figura 96 Clasificación de las tecnologías de aprovechamiento de la energía solar



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [165].

- ✓ Conversión térmica: Absorbe la energía solar y la transforma en calor. También cabe resaltar que mediante este tipo de tecnología es capaz de obtenerse energía eléctrica de una manera indirecta mediante la transformación de calor gracias a una máquina termodinámica.
- ✓ Conversión eléctrica: Permite la transformación directa de la energía solar en energía eléctrica.

8.6.1. Energía solar activa y energía solar pasiva.

8.6.1.1. Energía solar activa.

Este tipo de tecnología cuenta con una serie de clasificaciones, y estas dependen del margen de temperatura que se requieran:

- ✓ Baja temperatura ($T < 90^{\circ}\text{C}$).
- ✓ Media temperatura ($90^{\circ}\text{C} < T < 400^{\circ}\text{C}$).
- ✓ Alta temperatura ($T > 400^{\circ}\text{C}$).

8.6.1.1.1. Tecnología solar térmica de baja temperatura.

Este tipo de tecnología es comúnmente utilizado cuando el agua suele destinarse a su punto de ebullición, para su uso como agua caliente. Los subsistemas que para ello se utilizan dependen básicamente de su tipo de instalación. Los más importantes son los siguientes:

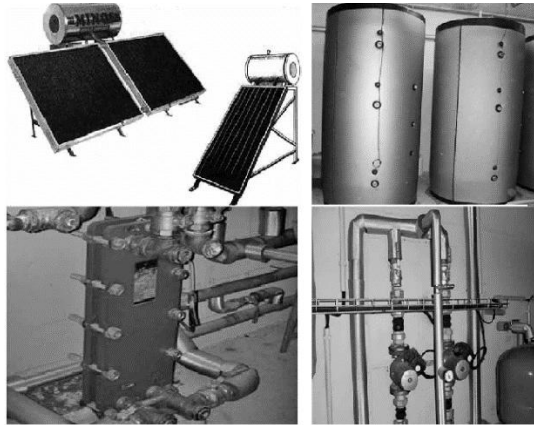
- ✓ Subsistema intercambiador: Independiza el agua que circula por el captador de agua de consumo.
- ✓ Subsistema de acumulación: Normalmente compuesto por tanques de acero, tiene como finalidad almacenar el calor para disiparlo en el momento que sea necesario.
- ✓ Subsistema de captación: Constituido por los denominados colectores solares, los cuales utilizan la energía solar con la misma intensidad que con la que incide.
- ✓ Subsistema auxiliar: Este sistema está compuesto por una variedad de elementos hidráulicos tales como tuberías, bombas, purgadores, energía auxiliar, etc., cuya función es el suministro del agua caliente solicitada

En la figura 97. Pueden apreciarse los subsistemas utilizados para la tecnología solar térmica de baja temperatura.

Los colectores que son aplicados a este tipo de aplicaciones son colectores planos. Para este tipo de tecnología a baja temperatura se destacan dos tipos de instalaciones.

- ✓ Sistema de circulación forzada: Para este tipo de sistemas el acumulador generalmente es situado dentro de la estructura (casa, edificio, etc.), por ejemplo en el sótano. Para que se pueda llevar a cabo la circulación de agua entre el acumulador y el colector es indispensable que se haga el uso de una bomba, por lo que será necesario un aporte externo de energía.

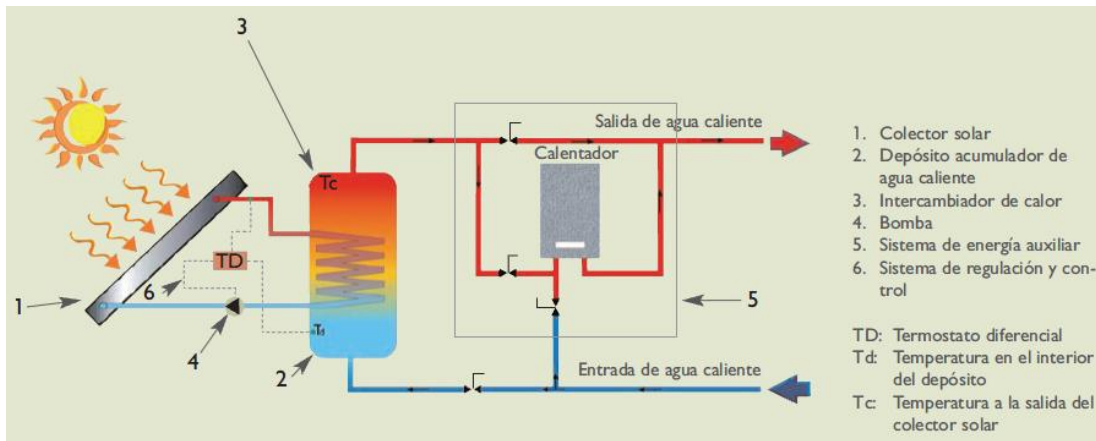
Figura 97. Subsistemas principales en tecnología solar a baja temperatura



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [170,171].

Este sistema es muy utilizado en sitios generalmente a bajas temperaturas como Gran Bretaña o los países Nórdicos, ya que como su clima allí en invierno es tan frío, no sería muy útil colocar el acumulador en el exterior ya que las pérdidas de calor allí serían muy elevadas. En la figura 98 se puede apreciar un sistema de circulación forzada (detalles, componentes) y su funcionamiento.

Figura 98 Detalle de un sistema de circulación forzada



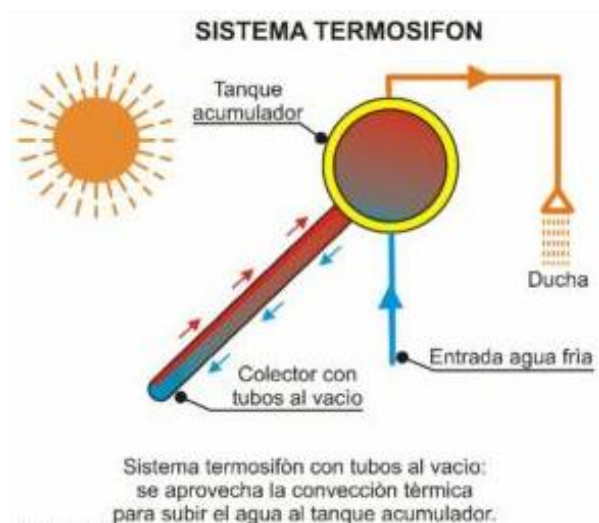
Fuente: Libro, Energías renovables y eficiencia energética [53].

- ✓ Sistemas termosifón: Este tipo de sistemas funcionan sin un aporte externo de energía, ya que utilizan el denominado efecto termosifón: "El movimiento del agua es originado por la diferencia de temperaturas entre el agua fría del depósito de acumulación y la caliente del captador". El agua que está dentro del colector es calentada por el sol y esto produce una disminución de su peso específico debido a que la densidad del agua disminuye. Al ocurrir esto el agua caliente se ubica en la parte superior del captador. Aparte de esto, el agua fría la cual es más pesada hace que esta caiga por el conducto que une la parte inferior del captador con el depósito, provocando que el agua caliente del captador suba hasta el tanque. Generalmente este tipo de sistemas el tanque es situado por encima del captador. Figura 99.

De esta forma es creado el movimiento del agua del colector al depósito, el cual es mantenido mientras exista una suficiente diferencia de temperatura entre el colector y el depósito. Una vez la temperatura de este es calentada, la diferencia de temperaturas es 0 y el movimiento cesa.

Generalmente cuando es empleado un sistema termosifón este es ubicado en los techos o en las azoteas de las viviendas o los edificios.

Figura 99 Principio solar de termosifón



Fuente: Disponible en internet:

<<http://www.termosifon.org/EmpresasEcuador/TermoSifon03.html>>

8.6.1.1.2. Tecnología solar térmica de media temperatura.

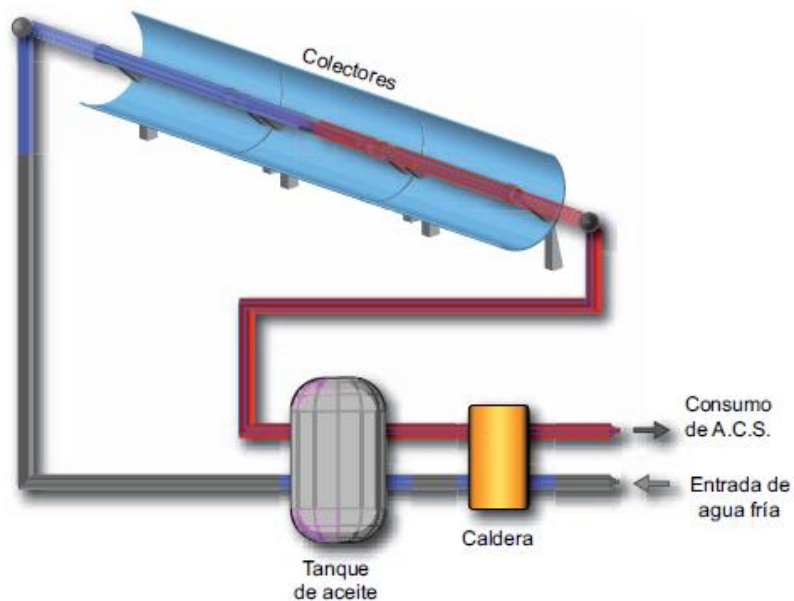
Este tipo de tecnología generalmente tiene dos aplicaciones diferentes:

- ✓ Producción de calor en procesos industriales: Generalmente vapor a temperaturas superiores a 150°C.
- ✓ Generación de electricidad mediante la conexión del fluido caliente: Generalmente 400°C, donde el fluido caliente es utilizado por los colectores en un sistema típico de producción de electricidad mediante un ciclo térmico.
- ✓ Algunos de los subsistemas más importantes en este tipo de tecnología son los siguientes:
- ✓ Subsistema de captación: Constituido generalmente por los colectores de concentración, los cuales como su nombre lo dice concentran la radiación procedente del sol que llega a la superficie captadora en un elemento receptor de una superficie pequeña (figura 100) siendo capaces de alcanzar una temperatura máxima de 400°C a un rendimiento elevado. Cabe resaltar

que los sistemas de captación más utilizados son los cilíndrico-parabólicos (figura 101).

- ✓ Subsistema intercambiador de gases de aceite.
- ✓ Subsistema de evaporación de gases.
- ✓ Subsistema de aplicación.

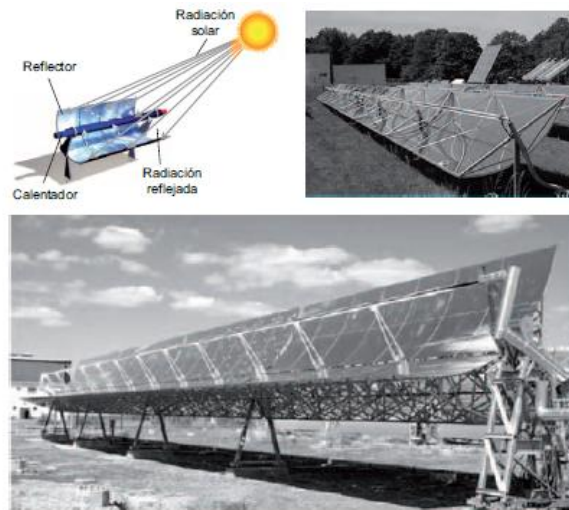
Figura 100 Esquema de un captador solar térmico de media temperatura



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [173].

Hay un elemento a tener en cuenta en este tipo de captadores. Estos, a diferencia de los colectores utilizados a baja temperatura, estos colectores captan la radiación directa, pero desaprovechan la radiación difusa, por lo tanto no son apropiados en zonas de cierta nubosidad.

Figura 101. Captador cilíndrico parabólico utilizado en sistemas de media temperatura



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [174].

8.6.1.1.3. Tecnología solar térmica de alta temperatura.

Este tipo de tecnología es destinada principalmente a la generación de energía eléctrica. Generalmente estos sistemas requieren de un dispositivo que tenga seguimiento solar, es decir que siguen al sol en su recorrido diariamente, consiguiendo así una mayor captación de la energía solar.

Las tres tecnologías solares térmicas utilizadas para la generación de electricidad son:

- ✓ Sistema solar con torre central receptor con heliostato: Estas están constituidas por una serie de espejos (llamados heliostatos) los cuales reflejan los rayos solares dirigiéndolos a una torre central y concentran la radiación solar en un solo punto, llegando a alcanzar temperaturas de 1000°C . estas centrales pueden ser de varios tamaños, desde 0,5 a 10 MW (figura 102).

Figura 102 Sistema solar con torre y heliostato



Fuente: Libro, Energías renovables y eficiencia energética [56].

- ✓ **Colectores Cilindro- Parabólicos:** Su tipo de funcionamiento es prácticamente idéntico a los colectores de media temperatura. Este tipo de colectores reflejan la radiación solar sobre un tubo de vidrio el cual está dispuesto a lo largo de la línea focal del espejo. El fluido que es calentado y transporta calor pasa por una tubería la cual está situada en el foco de los colectores alcanzando una temperatura un poco más alta de los 400°C, la cual es utilizada para la producción de vapor sobrecalentado, el cual alimenta una turbina, generando así la energía eléctrica (figura 103).

Figura 103 Colectores cilíndrico-parabólicos



Fuente: Libro, Energías renovables y eficiencia energética [56].

- ✓ Discos parabólicos (Stirling): Constituidos por espejos parabólicos en cuyo foco se sitúa el receptor solar. Este tipo de sistema es el indicado para la producción de energía eléctrica en sitios aislados donde no llegan las redes eléctricas. Por ejemplo, Un disco Stirling de 8.5 m de diámetro es capaz de producir 10 KW (figura 104).

Figura 104 Discos Stirling

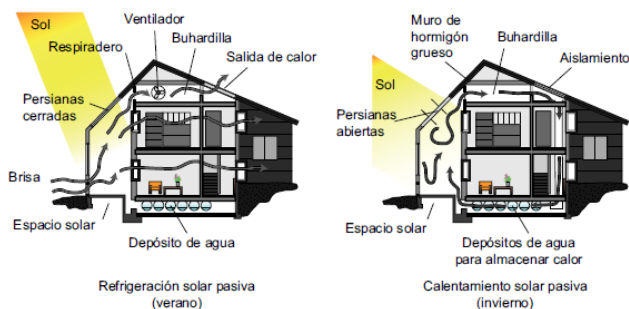


Fuente: Libro, Energías renovables y eficiencia energética [56].

8.6.1.2. Energía solar pasiva.

Este tipo de energía es aprovechada mediante el acondicionamiento pasivo de los edificios siguiendo las condiciones de la arquitectura bioclimática (figura 105). Es decir diseñando los edificios de manera que estos aprovechen en un grado óptimo las condiciones del entorno (entre ellas la energía solar), para que exista una disminución de consumo de la energía convencional.

Figura 105 Edificación bioclimática



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [166].

8.7. Centrales solares térmicas.

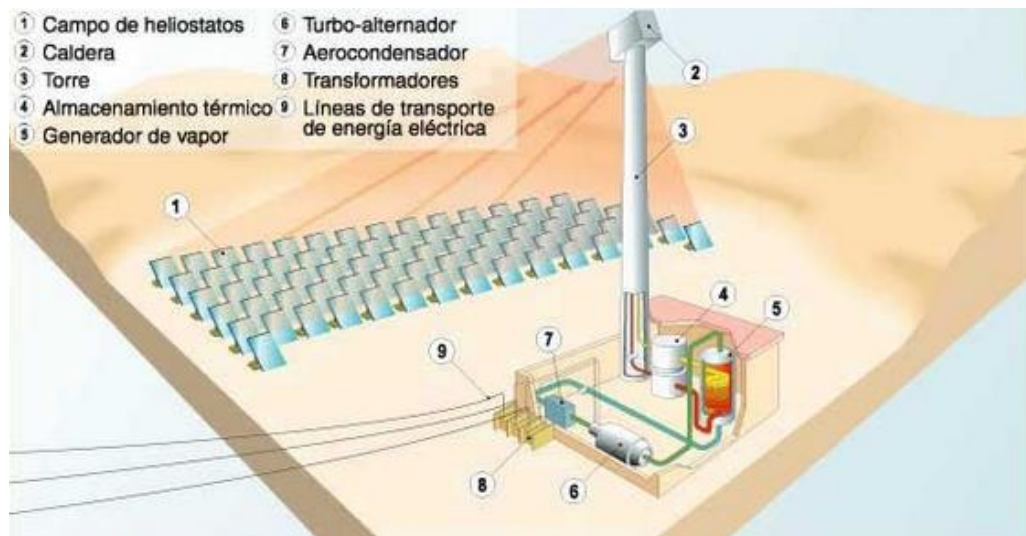
Básicamente, una central solar térmica es una instalación, la cual permite el aprovechamiento de la energía solar para la producción de electricidad. Proporciona un ciclo térmico similar al de una central termoeléctrica convencional (figura 98).

8.7.1. Funcionamiento de una central solar térmica.

La energía calorífica producida en la central en un determinado foco es transformada en energía mecánica, mediante la acción de una turbina y luego en energía eléctrica mediante un alternador

La principal diferencia es que en las centrales solares Figura 106. Termoeléctricas convencionales, la energía calorífica se consigue mediante la combustión producto del gas, carbón o petróleo, mientras que en las solares se obtiene mediante la radiación solar que se incide sobre un fluido.

Figura 106 Central solar térmica



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.unesa.es/sector-electrico/funcionamiento-de-las-centrales-electricas/1350-central-solarartermica>>

8.7.2. Centrales solares termoeléctricas de media temperatura.

Como se había enunciado anteriormente, la tecnología principal en las centrales termoeléctricas de media temperatura está basada en los colectores cilindro-parabólicos los cuales serán descritos detenidamente en la siguiente sección.

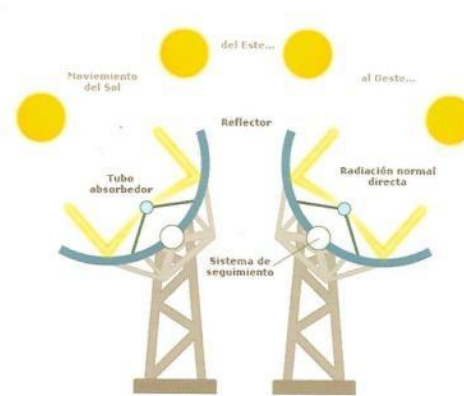
8.7.2.1. Elementos Principales de los Colectores Cilindro Parabólicos (CCP).

Los principales componentes de un CCP son:

- ✓ Reflector cilindro parabólico: la principal característica de un reflector cilindro parabólico es concentrar y reflejar sobre el tubo absorbente la radiación solar directa que incide sobre la superficie. Este reflector es un espejo semi-curvado en sus dimensiones lo cual forma una especie de parábola, la cual ayuda a concentrar toda la radiación solar que atraviesa su plano en su línea focal.
- ✓ Tubo absorbente: es uno de los principales componentes ya que del prácticamente depende la eficiencia total del colector. Este básicamente puede ser de un tubo o frecuentemente son más usados dos tubos concéntricos. Cuando son dos tubos generalmente el tubo interior que transporta el fluido que es calentado, usualmente es metálico y el exterior de metal. Una característica de este tubo metálico es que posee una elevada absorptividad (generalmente $>90\%$) y una baja emisividad (generalmente $<30\%$), lo cual esto ayuda a que se genere un alto rendimiento térmico. La parte cristalina ayuda doblemente ya que protege de las inclemencias meteorológicas su recubrimiento selectivo y ayuda a reducir las pérdidas térmicas por convección en el tubo metálico. Usualmente, este tubo de cristal lleva un tratamiento anti reflexivo en sus dos caras, lo cual ayuda a incrementar el rendimiento óptico del colector.
- ✓ Sistema del seguimiento del sol: Lastimosamente un CCP es limitado a solo aprovechar la radiación solar directa, lo cual esto lleva a exigir al colector a

hacer un seguimiento solar, implementando en él un mecanismo, el cual sigue la trayectoria solar a lo largo del día. La figura 107 muestra esquematizado este tipo de seguimiento solar.

Figura 107 Seguimiento solar típico de un Colectores Cilindro Parabólicos



Fuente: Disponible en internet: < <https://themorningstarg2.wordpress.com/tag/reflector-cilindro-parabolico/> >

- ✓ Estructura metálica: Su misión es dar rigidez al conjunto de elementos que componen el colector. Estas estructuras pueden ser de diferentes tipos, siendo los más comúnmente utilizados las de perfiles llenos y las tipos espaciales. En la figura 108. Se puede observar una estructura metálica de un colector.

Figura 108 Estructura metálica de un colector



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.alfijometal.net/imagenes/astexol1.jpg>>

En la figura 109 se observa todos los elementos ensamblados de un colector cilindro parabólico.

Figura 109 Elementos Principales de los Colectores Cilindro Parabólicos



Fuente: Disponible en internet: <<https://themorningstarg2.files.wordpress.com/2012/03/cilindro-parabolico12.jpg>>

8.7.3. Balance energético en colectores cilindro-parabólicos.

El ángulo de aceptación y la razón de concentración son dos ítems fundamentales de un colector cilindro-parabólico. El cociente entre el área de apertura del colector y el área total del tubo absorbedor, denominado razón de concentración geométrica (C) es:

$$C = \frac{4A}{\pi L D^2}$$

Siendo: A= Apertura del colector

L= Longitud del concentrador

D= Diámetro del tubo receptor

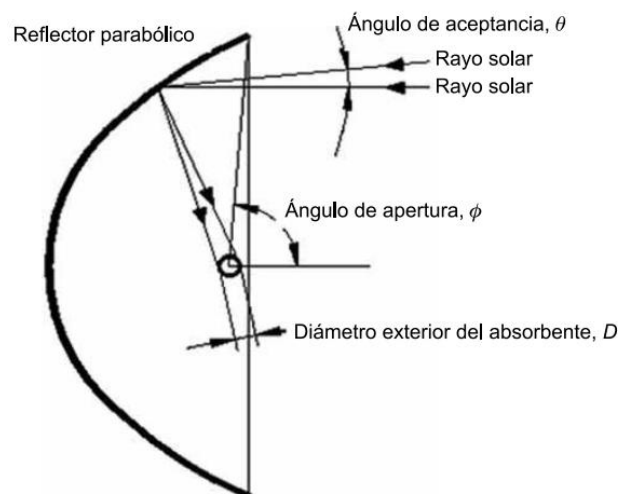
Los valores de la razón de concentración(C) de un CCP generalmente oscilan $20 < C < 220$

- ✓ Angulo de aceptación (θ): es el ángulo máximo que es formado cuando dos rayos que están en un plano transversal ubicados en la apertura del colector, que siendo reflejados, estos rayos intercepten el tubo absorbente (figura 110).

Cabe resaltar que los colectores cilindro parabólicos tienen un ángulo de aceptación de aproximadamente 1° . Si esto no fuera así, no podrían captar una aceptable fracción de la radiación solar directa disponible en ese instante. Para que exista una adecuada precisión de los sistemas de posicionamiento estas deben ser del orden de 0.25° .

Un colector cilindro parabólico maneja un rango de temperatura entre 150 y 400°C . Si se requiere trabajar en un ambiente de mayor temperatura, esto implicaría unas pérdidas mayores y esto llevaría a reducir su eficiencia. Por el contrario, para temperaturas menores de 150°C , puede adquirirse un colector más económico, tales como, los colectores de planos al vacío o los concentradores parabólicos compuestos.

Figura 110 Angulo de aceptación de un colector cilindro parabólico



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [193].

8.7.3.1. Pérdidas en un colector cilindro parabólico.

Estas pueden ocurrir por diferentes factores los cuales son enunciados a continuación:

- ✓ Pérdidas ópticas: Estas pérdidas se deben a que ni la superficie selectiva del tubo metálico es un absorbente perfecto, ni la geometría del captador es parabólica en su totalidad, ni la superficie reflexiva es un reflexor perfecto y ni el vidrio que cubre al tubo absorbente metálico es transparente. Todos estos factores dan para que la radiación solar directa llegue en una pequeña parte, y esta incida sobre el fluido que circula por el interior del tubo absorbente.
- ✓ Pérdidas Geométricas: Este tipo de pérdidas provocan una disminución del área efectiva de captación de los colectores. Estas pérdidas están divididas en:
 - ✓ Inherentes a cada colector
 - ✓ Difiere a la posición relativa y deseada que se encuentren los colectores ubicados entre sí.
 - ✓ Pérdidas térmicas desde el tubo receptor al ambiente: Producidas principalmente en dos lugares:
 - ✓ El tubo absorbedor
 - ✓ Tuberías de fluido térmico

8.7.3.2. Rendimiento de un colector cilindro parabólico.

Generalmente este rendimiento es subdividido en categorías las cuales se enuncian a continuación:

- ✓ Rendimiento térmico (η_{ter}): Considera todas las pérdidas térmicas que tienen lugar en el colector.

- ✓ Rendimiento óptico: Este rendimiento está dado por el ángulo de incidencia. Si este tiene un valor de 0° el $n_{opt}=0$. Su valor viene dado por el producto de los siguientes factores:
 - ✓ Transmisividad del tubo de vidrio
 - ✓ Absortividad de la superficie selectiva que recubre el tubo metálico absorbente
 - ✓ Reflectividad de los espejos
 - ✓ Factor de interceptación
 - ✓ Rendimiento global (n_{global}): Considera todas las pérdidas (geométricas, térmicas y ópticas), que tienen lugar en el colector.
 - ✓ Modificador por ángulo de incidencia (K): Considera todas las pérdidas geométricas y ópticas que tienen lugar en el colector para un ángulo de incidencia diferente de 0 y que no se tienen en cuenta cuando $n_{opt}=0$.

8.7.4. Centrales solares termoeléctricas de alta temperatura.

Al hablar de centrales termoeléctricas de alta temperatura, se debe decir que hay dos tipos principales:

- ✓ Discos parabólicos
- ✓ Torre central

8.7.4.1. Sistemas de discos parabólicos.

Estas centrales utilizan generalmente los discos Stirling (figura 111) los cuales presentan una gran eficiencia a la hora de transformar la radiación en energía. Usualmente en este tipo de centrales la temperatura oscila en un rango de $650\text{ }^\circ\text{C}$ a $800\text{ }^\circ\text{C}$ y eficiencias en los Stirling entre 28% y 43%.

Figura 111 Sistema de discos Stirling para una central termoeléctrica de alta temperatura



Fuente: Disponible en internet: < <http://www.ecologiaverde.com/discos-stirling-para-aumentar-la-eficiencia-de-la-energia-solar/>>

8.7.4.1.1. Elementos principales de un sistema de discos parabólicos.

Usualmente, un sistema de discos parabólicos está compuesto por:

- ✓ Receptor: este receptor cumple con diferentes funciones:
 - Transferir la energía absorbida al fluido con el que se está trabajando de la maquina térmica asociada al proceso.
 - Absorber la radiación solar que se ve reflejada en el concentrador.

Algunos tipos de receptores son enunciador a continuación:

- ✓ Receptores de reflujo.
- ✓ Receptores de tubos directamente iluminados: generalmente pueden alcanzar temperaturas de hasta 800 °C.
- ✓ Receptor tipo tubo de calor (heat pipe).
- ✓ Receptor tipo pool boiler.

8.7.4.2. Sistema de generación.

Constituido por un ciclo termodinámico de potencia o maquina térmica, el cual transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Cabe destacar que el

rendimiento de este sistema oscila entre el 35 % y 45% y que la potencia que puede generar este entre los 4 y 30 kW (Figura112).

✓ Concentrador: tal y como se había enunciado en secciones anteriores este, generalmente tiene forma parabólica. El tamaño del concentrador depende de la aplicación, potencia y de la energía que se quiere generar y disponible a través del tiempo para las condiciones de radiación solar. Los diámetros de los concentradores generalmente son:

- 7 m para la tecnologías más antiguas
- 17 m para tecnología más reciente

La relación de concentración (C) puede alcanzar hasta un valor máximo de 3000.

Figura 112 Ciclo termodinámico de potencia

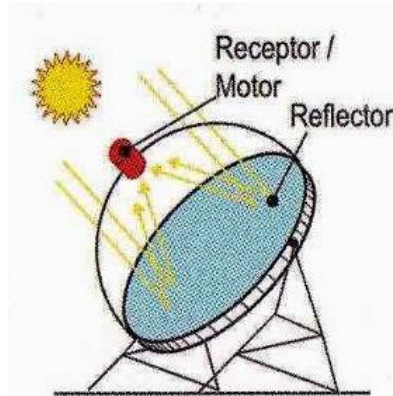


Fuente: Disponible en internet: < <http://thermo.sdsu.edu/TEST-Espanol/testhome/Test/intro/exOpenCycleP.html> >

- ✓ Estructura y mecanismos: estos elementos son los que siguen la posición del sol en todo momento. Hay diversos modos de hacer este seguimiento:
- ✓ Seguimiento Polar: este seguimiento se debe hacer de acuerdo a las variaciones estacionales del sol. Este montaje es más fácil de controlar.

- ✓ Seguimiento en acimut-elevación: este seguimiento se hace en los ejes vertical y horizontal. Este montaje es más simple (desde el punto de vista constructivo) (Figura 113).

Figura 113 Elementos de un sistema de discos parabólicos



Fuente: Disponible en internet:

<http://www.anes.org/anes/index.php?option=com_wrapper&Itemid=76>

8.7.4.3. Sistemas de torre central.

Estos sistemas son generalmente nuevos y hoy en día se encuentran en su primera etapa de explotación comercial.

8.7.4.3.1. Elementos principales de un sistema de torre central.

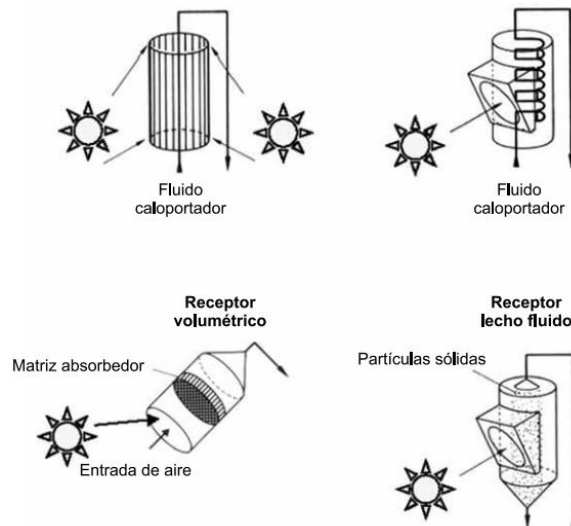
Los principales elementos de un sistema de torre central sol:

- ✓ La torre: Posee la función de dar soporte al receptor, la cual, generalmente debe estar situada a una altura específica sobre el nivel de los heliostatos con el fin de disminuir los bloqueos y las sombras entre estos. Usualmente, el material de estas torres han sido de hormigón o de estructuras metálicas.
- ✓ El receptor: tal vez uno de los elementos más importantes del sistema ya que es el encargado de convertir la radiación solar concentrada en energía térmica. Este tipo de receptores pueden ser:

- ✓ Receptores de cavidad
- ✓ Receptores externos: estos a su vez pueden clasificarse en semicilíndricos, cilíndricos y planos.
- ✓ Receptores de absorción directa
- ✓ Receptores de absorción indirecta

En la figura 114. Se pueden apreciar algunos de estos receptores

Figura 114 Esquemas de algunos tipos de receptores



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [205].

- ✓ El sistema de control
- ✓ El sistema colector o campo de heliostatos: encargado de la captación de la radiación solar y reenviarla al receptor y representar junto con el receptor representa la mayoría de costo de la instalación solar (aproximadamente el 60%). El heliostato(figura 115) está compuesto generalmente de :
 - ✓ Sistema de control
 - ✓ Mecanismos de movimiento
 - ✓ Estructura soporte
 - ✓ Superficie reflectante

Figura 115 Heliostato de la central solar termoeléctrica Solar Two
(California, Estados Unidos)



Fuente: Disponible en internet:

<http://es.wikipedia.org/wiki/Heliostato#mediaviewer/Archivo:Solar_Two_Heliostat.jpg>

8.7.4.3.2. Balance energético de un sistema de torre central.

Al llevar a cabo un balance energético en un sistema de torre central se llevan a cabo diferentes procesos tales como:

- ✓ Conversión foto térmica
- ✓ Conversión de la energía térmica en energía mecánica
- ✓ Generación de electricidad
- ✓ Captación de la radiación solar por los heliostatos
- ✓ Transmisión de la radiación solar concentrada por el receptor
- ✓ Como se ha dicho anteriormente al pasar por estos procesos estos conllevan a que existan pérdidas las cuales serán descritas en la siguiente sección.

8.7.4.3.2.1. Pérdidas en la conversión foto-térmica.

Estas pérdidas son producidas cuando el receptor sufre la conversión de la energía radiante en energía térmica. Las cuales son descritas a continuación:

- ✓ Perdidas por conducción: producidas por la diferencia de temperaturas entre la superficie que absorbe y los elementos estructurales.
- ✓ Perdidas por convección: dependiendo del tipo de convección, ya sea forzada (interna o externa) y natural.
- ✓ Perdidas por radiación: estas pérdidas pueden dividirse en:
- ✓ Perdidas por reflexión: Las cuales dependen de la absorptividad de la superficie que absorbe.
- ✓ Perdidas por emisión: dependientes de la emisividad de la superficie que absorbe y de la temperatura.

8.7.4.3.2.2. Perdidas en la captación.

Estas pérdidas pueden dividirse en varios grupos:

- ✓ Perdidas geométricas: dependientes de la posición de los elementos que conforman la central (heliostatos, receptor, torre y demás) y del dimensionamiento de estos mismos. También estas pérdidas dependen de la ubicación del sol, luego estas pérdidas pueden ser mayores o menores de acuerdo a la hora del día.
- ✓ Perdidas por reflectividad: dependientes de la longitud de las ondas de la radiación incidente.

8.7.4.3.2.3. Perdidas en la captación de la radiación solar concentrada por el receptor.

Estas pérdidas vienen determinadas por diferentes factores tales como:

- ✓ Algunas imperfecciones de diseño
- ✓ Errores en la colocación de los heliostatos

Los factores descritos anteriormente conllevan a que la radiación que llega se reduzca y no alcance a la superficie que absorbe.

8.7.4.3.2.4. Perdidas debido a la atmosfera.

Estas pérdidas se originan por las condiciones climáticas a través de la superficie, lo cual dependiendo de estas condiciones sufrirá cambios y estos serán mayores o menores dependiendo de la distancia que sea recorrida al reflejarse la radiación. Estos cambios pueden producir diferentes procesos como:

- ✓ Dispersión
- ✓ Absorción

8.7.4.3.2.5. Perdidas en la parte convencional.

Producidas por algunos elementos pertenecientes a la central tales como:

- ✓ Turbinas
- ✓ Evaporadores
- ✓ Intercambiadores de calor

8.8. Aplicaciones de la energía solar.

Las aplicaciones de la energía solar térmica pueden variar de acuerdo al sistema, algunas de estas aplicaciones son:

- ✓ Baja temperatura:
 - Agua caliente sanitaria domestica
 - Climatización de piscinas
 - Sistemas combinados y calefacción
 - Cocinas solares
 - Suministro de energías para bombas de calor
 - Producción de calor para secaderos
 - Refrigeración solar
 - Aplicaciones en industrias
 - Calentamiento de invernaderos

- ✓ Media temperatura:
 - Desalinización solar
 - Producción de vapor para la generación de energía eléctrica
 - Producción de vapor para procesos industriales como la pasteurización
 - Producción de calor para su utilización en la desecación de madera, papel y productos agrícolas, como el tabaco.

- ✓ Alta temperatura:
 - Generar electricidad
 - Centrales solares
 - Generación de vapor para la producción de electricidad a gran escala

8.9. Costos de la energía solar térmica.

Los costes de la energía solar térmica varían de acuerdo al tipo de tecnología solar que se esté utilizando.

8.9.1. Costos de la energía solar térmica de baja temperatura.

Este tipo de tecnología solar es utilizado por usuarios donde estén involucrados pequeños grupos de familias (3 a 10 usuarios), que como se vio en una sección anterior utilizan esta tecnología para aplicaciones pequeñas (calentamiento de agua, climatización de piscinas, etc.).

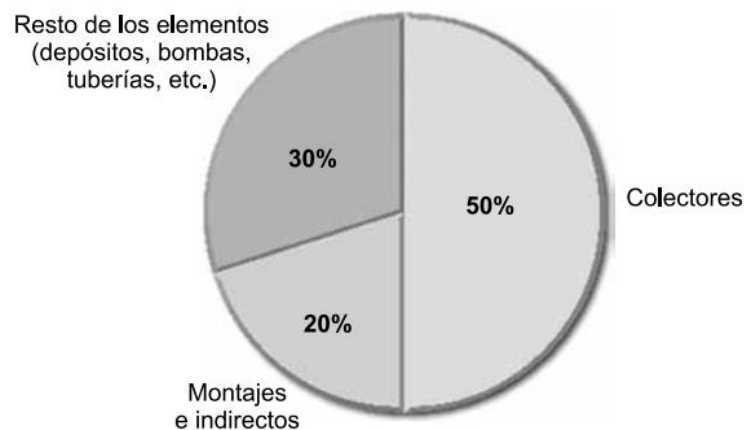
Para tener certeza de cuanto puede costar una instalación solar térmica, esta depende de varios factores:

- ✓ Tamaño del edificio: A mayores edificaciones, existe una mayor demanda de energía y por lo tanto la instalación eléctrica debe ser más grande.
- ✓ Zona climática: Esto depende donde se esté ubicado.

- ✓ Configuración del edificio: Si existe un espacio libre para que los captadores solares y acumuladores solares puedan ser ubicado y se eviten sus sombras y para su fácil instalación y mantenimiento.
- ✓ De la integración de la instalación.
- ✓ Los costos de esta tecnología pueden oscilar entre:
- ✓ 1100 a 2500 euros, si se supone que la eficiencia y el aporte energético sea alto (65% a 82% aproximadamente).
- ✓ Adicionalmente se debe sumar de un 1% a 1.5% de costo de la inversión inicial, por costos de mantenimiento.
- ✓ Costo del consumo de la fuente energética auxiliar.

Los porcentajes de los costos de la energía solar se reflejan en la figura 116.

Figura 116 Costos de la tecnología solar térmica de baja temperatura



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables.

8.9.1.1. Ejemplo de costo de la energía solar térmica.

Ahora para un caso concreto veremos un ejemplo para un edificio que cuente con una serie de viviendas en un vecindario.

Para un edificio que cuente con 30 viviendas los costos pueden ser:

- ✓ Instalación solar

- Centralizada= 950 euros
- Descentralizada= 1300 euros
- ✓ Instalación convencional
 - Centralizada= 1550 euros
 - Individual= 13500 euros
 - Se incluye el suministro energético

8.9.2. Costos de la energía solar térmica de media y alta temperatura.

Los costos de estos dos tipos de tecnologías tanto de media como alta temperatura, cabe resaltar que día a día van siendo reducidos. Esto es debido a que cada día, los elementos que componen este tipo de tecnologías (heliostatos, discos parabólicos, etc.), están siendo producidos en masa y esto conlleva a una reducción de costos.

La implementación de nuevos materiales, mayor interés por parte de las compañías en este tipo de energías y un nivel de competencia mucho mayor que el de hace unos años, hacen que este tipo de tecnologías sean más apetecibles y aprovechables. En la figura 117. Se ve un ejemplo de costos para estas tecnologías en el continente europeo.

Figura 117 Ejemplo de costos de tecnología solar térmica de media y baja temperatura

| | Colectores cilindro-parabólicos | Receptores centrales | Discos parabólicos |
|-----------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Tamaño | 30-320 MW* | 10-200 MW* | 5-25 MW* |
| Temperatura de trabajo (°C) | 390 | 565 | 750 |
| Eficiencia neta anual | 11(d)-16%* | 7(d)-20%* | 12-25%*(e) |
| Grado de desarrollo | Comercial | Demostración a gran escala | Demostración de prototipos |
| Costes €/m ² | 480-210* | 265-150* | 2.385-245* |
| €/W | 3-2* | 3,4-1,9* | 9,7-1* |

Fuente: Departamento de Energía americano, DoE

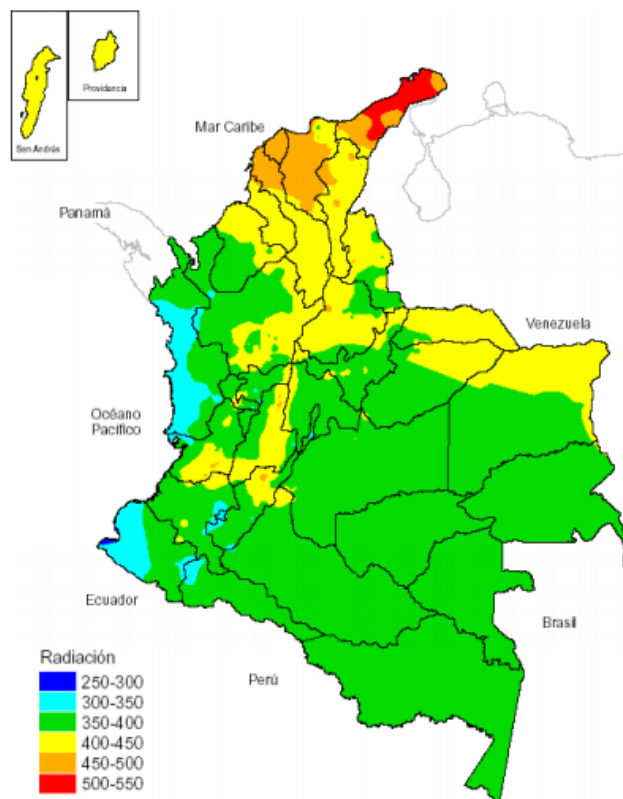
(www.eere.energy.gov/troughnet/pdfs/Solar_overview.pdf).

*Variación entre los años 1997-2030 (d)=valores demostrados; (e)=valores estimados

8.10. Desarrollo y avance de la energía solar térmica en Colombia.

La energía solar térmica en Colombia es una energía nueva para el país, hasta el año de 1992, el antiguo HIMAT (hoy IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) y el INEA (hoy escindido entre el IPSE, Instituto de Planeación y Soluciones Energéticas y el INGEOMINAS) realizaron el primer Atlas de radiación solar de Colombia. A partir de éste se establecieron niveles de radiación promedio anual diaria en kilovatios hora por metro cuadrado (Kwh./m²) con valores de 5 a 6 en el Valle medio del Magdalena y de 4 a 5 en Casanare, Arauca, Guainía, Guaviare, Vichada y Amazonas entre otros departamentos. En la figura 118. Se representa un mapa de cómo se distribuye la radiación solar en Colombia.

Figura 118 Mapa de la radiación solar en Colombia



Fuente: Disponible en internet:

<http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:36266/componente36265.pdf>

El potencial de la energía solar se ve reflejado en la tabla 5. La cual muestra que la guajira y la costa atlántica poseen el potencial más elevado en el país.

Tabla 5 Potencial de la energía solar en Colombia, dividida en regiones

| Región del país | Radiación Solar (KWh/m ² /año) |
|--------------------|---|
| Guajira | 2000-2100 |
| Costa Atlántica | 1730-2000 |
| Orinoquia-Amazonia | 1550-1900 |
| Región andina | 1550-1750 |
| Costa Pacífica | 1450-1550 |

Fuente: Disponible en internet: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-49932008000200012&script=sci_arttext>

8.11. Impacto medioambiental por utilizar la energía solar térmica.

Algunos de los impactos ambientales que generan este tipo de energía, son enunciados a continuación:

8.11.1. Aspectos Positivos medioambientales por utilizar energía solar térmica.

Uno de los aspectos positivos de utilizar esta energía renovable en el medio ambiente es que sustituye los combustibles fósiles.

8.11.2. Aspectos Negativos medioambientales por utilizar energía solar térmica.

- ✓ Paisaje: Este es un factor ambiental de primer orden y uno sobre los cuales incide más este tipo de energía, y aun su situación puede empeorar un poco cuando una planta solar se instala en medios rurales o en escenarios naturales los cuales son candidatos a convertirse en reservas naturales.

Para esto es necesario tomar en cuenta que las plantas solares deben instalarse en lo más mínimamente posible dentro de la armonía del entorno circundante.

- ✓ Visión: Estas estructuras generalmente son de gran tamaño, lo cual afecta el entorno visual.
- ✓ Suelos: Al instalar una central solar térmica se pierde el uso de suelos. Para corregir este problema, se debe desarrollar un estudio de tipo ambiental, el cual limite el uso de tierras a la producción de energía.

8.12. Conclusiones

- ✓ La energía solar térmica siempre ha estado disponible para el ser humano, gracias al sol que es el principal ente que emite la radiación solar. Esta radiación puede ser de varios tipos: Directa (que es cuando el sol incide sobre los objetos cuando no se ha producido ninguna interacción), o indirecta dentro de la cual tiene contenida la radiación difusa (fenómeno que ocurre cuando se produce una desviación de los rayos solares) y la radiación reflejada (la cual se refleja en la superficie terrestre).
- ✓ La energía solar térmica tiene diferentes usos: como fuente de calor (para baja y media temperatura, y como fuente de electricidad (alta temperatura).
- ✓ El potencial de la energía solar térmica varía alrededor del mundo. Siendo, más elevado en la parte centro occidental de sur américa, en el sur de norte América, algunas zonas de áfrica, Oceanía y el continente asiático, y siendo menor en las regiones nórdicas y la republica de Rusia.
- ✓ Para el aprovechamiento de la energía solar térmica, cabe resaltar que la potencia de los rayos es baja al amanecer y atardecer y la más elevada en el horario del mediodía. Para tener una eficiencia más alta a la hora de optimizar el uso de la energía solar térmica se debe tener en cuenta la posición trigonométrica del sol.
- ✓ Existen elementos (edificios, arboles, montañas, etc.) que pueden ocasionar perdida de eficiencia y por lo tanto un menor aprovechamiento de la energía solar térmica. Para ello, se debe hacer un estudio de estimación de sombras, el cual es ideal para que proporcione un modelo de donde sería más eficiente ubicar los paneles solares.

- ✓ Hay distintos tipos de tecnología solar. Energía solar activa y energía solar pasiva. La energía solar pasiva se aprovecha cuando se hace un diseño a un edificio de tal manera que estos puedan obtener energía en un grado óptimo bajo las condiciones que el entorno maneje. En la energía solar activa se encuentra dividida por la tecnología solar de baja, media y alta temperatura. Dentro de la tecnología de baja temperatura se encuentran diferentes subsistemas (Subsistema intercambiador, Subsistema de acumulación, Subsistema de captación, Subsistema auxiliar, subsistema de termosifón y Sistema de circulación forzada). La tecnología de media temperatura es más comúnmente utilizada para la producción de calor en procesos industriales, teniendo subsistemas similares a los de la tecnología de baja temperatura. Finalmente en la tecnología solar térmica de alta temperatura, son aplicaciones mucho más industrializadas y esto conlleva a que sea en este tipo de tecnología donde se genere la mayor cantidad de energía. Las aplicaciones de esta tecnología llevan a la construcción de centrales solares térmicas.
- ✓ Algunas aplicaciones concretas en estos tipos de tecnología pueden ser: Para la tecnología de baja temperatura, se pueden manejar desde la climatización de piscinas a calentamiento en invernaderos. En cuanto a la media temperatura, se puede producir vapor para la generación de energía eléctrica. Y para aplicaciones de la energía solar térmica de alta temperatura, cabe resaltar la generación de vapor para la producción de electricidad a gran escala.
- ✓ Los costos de la energía solar térmica, son distintos según su aplicación, pueden ser desde un mínimo de 1000 euros para pequeñas aplicaciones, hasta de miles de millones de euros para una aplicación a gran escala, es el caso de una central solar térmica.
- ✓ La energía solar térmica es una energía renovable, prácticamente nueva en Colombia. Donde se puede visualizar un gran potencial en todo el territorio

nacional, siendo su mayor porcentaje en la costa atlántica, más específicamente en el departamento de la guajira.

- ✓ La energía solar térmica tiene tanto aspectos positivos como negativos. Dentro de los positivos se encuentra, que es una energía renovable prácticamente constante en todo el año. Por otra parte, dentro de los negativos se encuentran que puede causar un impacto visual, así como ocasionamiento de la pérdida de suelos.

9. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.

9.1. Introducción.

Al generarse un proceso de conversión fotovoltaica, este proceso es denominado el efecto fotoeléctrico, el cual, lleva a cabo la conversión de la energía lumínica, la cual proviene del sol, en energía eléctrica. La conversión fotovoltaica es producida, en el instante en que la luz del sol incide, sobre materiales semiconductores (generalmente el silicio), haciendo que a su vez se genere un gran flujo de electrones en el interior de estos materiales, los cuales son aprovechados para obtener energía eléctrica. Este proceso puede llevarse a cabo mediante la utilización de unos dispositivos los cuales se conocen como células solares o fotovoltaicas.

La energía solar fotovoltaica, tiene diversas aplicaciones, tales como, generar energía para transportarle a los lugares más remotos; Por otra parte, también aplicaciones que pueden tener funciones tan complejas como el suministro de energía a satélites artificiales.

9.2. Objetivos.

9.2.1. General

Brindar una idea concreta de en qué consiste la energía solar fotovoltaica, usos, diversas aplicaciones, utilidades, beneficios e impactos de esta energía renovable a nivel global.

9.2.1.1. Específicos

- ✓ Proveer al estudiante los conceptos más importantes sobre las diferentes formas de aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica, mediante la elaboración de esta sesión.

- ✓ Conocer un sistema fotovoltaico y como se genera electricidad a través de estos sistemas.
- ✓ Proporcionar los conocimientos acerca de los paneles fotovoltaicos (materiales, eficiencias, costos, etc.), los cuales servirán de guía para futuros proyectos que requieran de este tipo de energía para su desarrollo y culminación.
- ✓ Brindar al estudiante información acerca de las infraestructuras que se tienen en Colombia para la explotación de la Energía solar fotovoltaica y cómo se encuentra esta energía en términos tecnológicos en el territorio nacional.
- ✓ Dar a conocer que impactos tanto positivos como negativos tiene la energía solar fotovoltaica sobre el medioambiente.

9.3. Origen de la Energía Solar Fotovoltaica.

Esta energía renovable a diferencia de la energía solar térmica, la cual siempre ha estado presente, prácticamente desde la creación del universo, es una energía moderna la cual tuvo sus orígenes, alrededor de la mitad del siglo XIX. A continuación se describe una cronología de lo que ha sido el desarrollo de la energía solar fotovoltaica desde sus orígenes hasta principios del siglo XXI.

9.3.1. Línea de tiempo del Avance y desarrollo de la Energía Solar Fotovoltaica.

- ✓ 1839: Edmund Becquerel, físico francés, descubre el efecto fotoeléctrico, cuando observo que algunos materiales generaban diminutas corrientes eléctricas al ser expuestos a la luz.
- ✓ 1877: Willoughby Smith descubre por primera vez el efecto fotoeléctrico en un material semiconductor (específicamente el selenio). En este mismo año es desarrollada la primera célula fotovoltaica construida con selenio.
- ✓ 1921: El científico Albert Einstein gana el premio nobel, gracias a sus teorías explicativas, que ayudaban a entender en mayor proporción, en qué consistía el efecto fotoeléctrico.
- ✓ 1954: D.M. Chaplin, C.S. Fuller y G.L. Pearson, publican los resultados del estudio con células solares de silicio. Las cuales pueden alcanzar una pequeña eficiencia cercana al 5%.
- ✓ 1955: La compañía electrónica Hoffman, produce células fotovoltaicas con eficiencias cercanas al 8%, para aplicaciones espaciales.
- ✓ 1958: Se lanzan al espacio los primeros satélites alimentados con energía solar fotovoltaica. Algunos de ellos son: El Vanguard Explorer III, Vanguard II y Sputnik-3.
- ✓ 1960: Se diseñan células fotovoltaicas de mayor eficiencia, alrededor del 15%.
- ✓ 1962: Se envía al espacio el primer satélite comercial de telecomunicaciones construido a base de paneles fotovoltaicos. El satélite Telstar.
- ✓ 1963: Se instala un sistema fotovoltaico en Japón el cual produce una potencia de alrededor de 0.2 Kw.

- ✓ 1973: La universidad de Delaware en Estados Unidos, construye la primera casa que produce electricidad a base de energía solar fotovoltaica.
- ✓ 1974-1977: Se produce la fundación y apertura de las primeras compañías de energía solar.
- ✓ 1979: Se instala sobre la superficie del planeta Marte las sondas Viking.
- ✓ 1981: En la península arábiga, se instala una planta desalinizadora por osmosis la cual es abastecida por un sistema fotovoltaico de alrededor de los 9 Kw. Ese mismo año vuela un avión no tripulado "El Solar Challenger", abastecido con energía solar fotovoltaica.
- ✓ 1983: La generación de energía solar fotovoltaica a nivel mundial supera los 22 Kw, teniendo rendimientos económicos de más de 200 millones de dólares. Un vehículo "El solar Trek", recorre Australia en un tiempo inferior a un mes. Se construye la planta de energía solar fotovoltaica más grande hasta ese momento en California, la cual produce alrededor de los 6 MW.
- ✓ 1992: Se instala un sistema fotovoltaico en la Antártida, el cual tiene como función abastecer de energía a un laboratorio.
- ✓ 1996: Un avión no tripulado "El Ícaro", sobrevuela Alemania.
- ✓ Inicios del Siglo XXI hasta hoy: La producción de energía solar fotovoltaica sigue creciendo cada día, proyectándose como una de las principales fuentes renovables a nivel mundial, debido a que posee mínimos niveles de contaminación y su eficiencia cada vez es mayor.

9.4. Principales usos de la energía solar fotovoltaica.

Al desarrollar una instalación solar fotovoltaica, esta se divide en dos grupos:

- ✓ Sistemas aislados
- ✓ Sistemas conectados a la red eléctrica

9.4.1. Sistemas aislados.

Dentro de los sistemas aislados, los cuales son sistemas que son totalmente autónomos y que no tienen conexión a la red eléctrica. Dentro de las aplicaciones más importantes son enunciadas a continuación:

- ✓ Electrificación en zonas rurales: viviendas, electrificación de refugios y albergues en zonas montañosas, escuelas y centros comunales.
- ✓ Aplicaciones agrícolas y ganaderas: Bombeos de agua, electrificación de establos, controles de riego.
- ✓ Telecomunicaciones: Telefonía móvil, radares, cabinas telefónicas de uso público.
- ✓ Señalización: faros, radiofaros, indicadores de hora, señalización para pasos de vías férreas.
- ✓ Iluminación pública: carteles publicitarios, alumbrado público, iluminación de túneles.

9.4.2. Sistemas conectados a la red eléctrica.

Estos sistemas, prácticamente son sistemas innovadores, los cuales consisten en la instalación de un sistema fotovoltaico, el cual es capaz de transformar la energía que es suministrada por los paneles fotovoltaicos y es capaz de conectar esta energía a la red eléctrica.

9.5. Potencial de la Energía Solar Fotovoltaica.

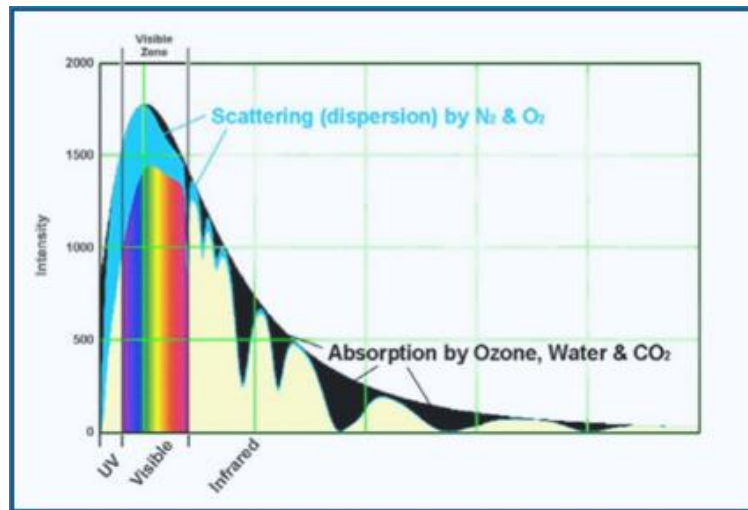
Un concepto claro, el cual debe ser entendido, es que la energía fotovoltaica, no es la única vía para obtener energía proveniente del sol (la energía que lleva a la tierra, llega mediante partículas denominadas fotones). Algunas fuentes energéticas provenientes del sol son las siguientes:

- ✓ Energía solar en forma de moléculas, las cuales más adelante se convirtieron en fuentes no renovables, como el carbón y el petróleo.
- ✓ Energía eólica.
- ✓ Energía hidráulica.

La diferencia entre las energías mencionadas anteriormente, es que estas energías producen la energía eléctrica de forma indirecta, mientras que la energía solar fotovoltaica lo hace de forma directa.

En la figura 119. Se puede apreciar el espectro solar, el cual no es uniforme en la tierra, y ni siquiera uniforme en el mismo sitio, ya que esta varía dependiendo de la hora del día.

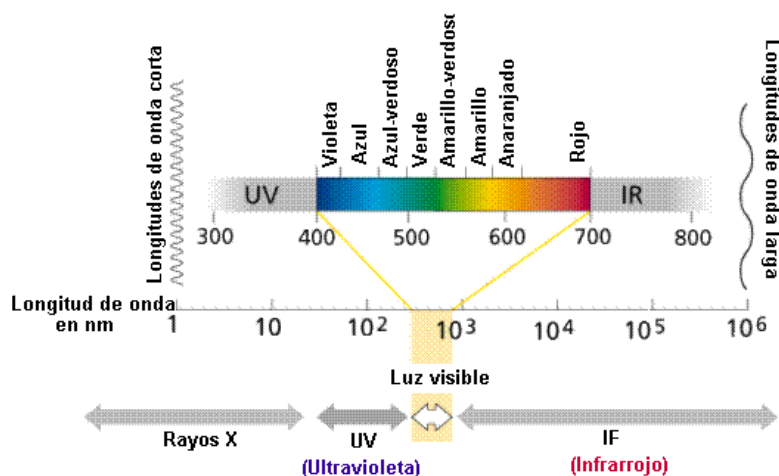
Figura 119 Espectro solar



Fuente: Disponible en internet: < <http://www.lfnphotovoltaics.com/?p=energia-fotovoltaica/energia-solar>>

La luz blanca la cual proviene del sol, está formada por los colores que representan el arcoíris, los cuales poseen su respectiva longitud de onda. Los colores van desde longitudes de onda violeta (380nm) hasta longitud de onda en la zona roja (770 nm). Un panorama más detallado de estas longitudes de onda se ve reflejado en la figura 120.

Figura 120 Distribución espectral de las longitudes de onda



Fuente: Disponible en internet: < <http://www.efn.uncor.edu/dep/biologia/intrbiol/fotosint.htm>>

De acuerdo a la anterior figura, se puede apreciar que la luz visible se encuentra en un rango cerca de los 400nm, hasta un valor cercano a los 800 nm. Por debajo de los 400 nm (rayos x), esta luz es imperceptible a simple vista, igual que mayor a los 800 nm (sector infrarrojo). Colores como el violeta, azul, verde, amarillo, anaranjado y rojo, componen la zona de longitud de onda visible para el ser humano, sin necesidad de ningún equipo especializado para ello.

La radiación, la cual es emitida por el sol en todas las direcciones, impacta en la tierra, los cuales los científicos han denominado como constante solar (Gs), la cual es la energía por unidad de tiempo y unidad de superficie perpendicular a la dirección en la cual se propaga la radiación, para la distancia de la cual está separado el sol de la tierra. Los científicos han dado un valor a la constante solar de aproximadamente de 1.359 [w/m²] o 5.762 K.

Debido a las pérdidas que se producen en la conversión fotovoltaica las cuales tienen lugar en las células solares, en un primer lugar, mientras que otras perdidas pueden generarse por las características (ya sean geométricas o constructivas) del panel fotovoltaico, aproximadamente el 85% de esta energía se pierde, llegando

estas pérdidas a ser en algunos casos mayor al 90%(esto dependiendo del material en el que esté construido la célula solar), así pues, solo cerca del 15% de la energía solar es transformada en energía eléctrica. Esto no debe preocupar, ya que si bien esto produce una limitación para el uso de paneles fotovoltaicos, ya que se necesita una superficie extensa, hay demasiada superficies disponibles (techos, tejados, zonas desérticas, etc.).

Para un ejemplo claro, se supone que se tiene un panel fotovoltaico, el cual está instalado de forma adecuada, el cielo está totalmente despejado y en horas donde se produce mayor irradiación (2 kW/m^2), así solamente se produciría un 15% de potencia eléctrica (aproximadamente 300 W), en un panel de 1 m^2 de área. Recordando que esto se hace en las condiciones más optimas, la potencia se verá reducida, si estos factores se vuelven adversos. Es decir, hay mayor nubosidad, la irradiación es tomada al amanecer o atardecer, o peor aún si hay días lluviosos la potencia sería prácticamente despreciable.

Aun así, a pesar de algunos factores no tan positivos de la energía solar fotovoltaica, se espera que hacia el año 2030, la capacidad de energía solar llegue alrededor de los 2.000 GW.

Como ya se mencionó anteriormente que existen dos sistemas (aislados y conectados a la red eléctrica), esta proyección indica que el 30 % de esta capacidad estaría en los sistemas aislados, y el 70% estaría en el sistema de conexión a la red eléctrica, en los países que son denominados industrializados. Así, cerca de 1.000 millones de personas los que generarían su electricidad a causa de la energía solar. En cuanto a los sistemas aislados que son mucho más pequeños, pero más económicos, la proyección indica que cerca de 3.000 millones de personas podrían generar su energía eléctrica con estos sistemas, y que esta tecnología sería probablemente más desarrollada en países en vía de desarrollo.

9.6. Tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica.

Antes de pasar a observar los principales tipos de tecnologías que se usan para tener un adecuado aprovechamiento de la energía solar térmica, deben brindarse, unos fundamentos y conceptos físicos previos, los cuales son descritos a continuación.

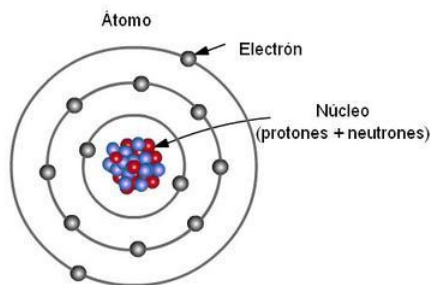
9.6.1. Fundamentos físicos de la célula solar

Como se mencionó, se deben tener los conocimientos previos para entender los fundamentos físicos de los cuales está compuesta la célula solar, la cual es la que permite el aprovechamiento y posteriormente generación de energía solar fotovoltaica en energía eléctrica. Algunos de esos conceptos son enunciados a continuación:

9.6.1.1. El Átomo.

El átomo (figura 121) está constituido, desde un punto de vista eléctrico de un determinado número de electrones (los cuales poseen cargas negativas en su núcleo, así como de protones (que por el contrario su carga es positiva), mientras que en el núcleo, se produce el confinamiento de estas dos partículas.

Figura 121 El átomo

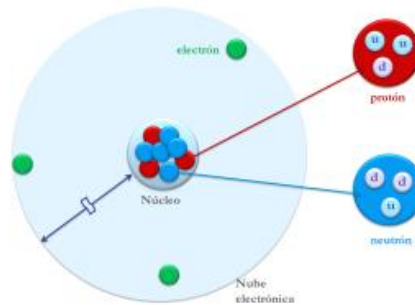


Fuente: Disponible en internet: <<http://quimica2eso.wikispaces.com/El+%C3%A1tomo>>

Todos los cuerpos poseen electrones y protones en diferente cantidad de acuerdo a la composición química que posean. Por ejemplo, el hidrogeno posee, un protón

y un electrón, mientras el carbono posee seis de cada una de estas partículas. El átomo el cual es totalmente neutro, debe poseer igual cantidad de protones, al igual que la misma cantidad de electrones (figura 122).

Figura 122 Esquema implicado del átomo



Fuente: Disponible en internet: <<http://abcienciade.wordpress.com/2009/05/24/respuesta-el-atomo/>>

Usualmente, el tamaño de un átomo, oscila entre 10^{-10}m y su núcleo 10^{-14}m , lo cual se ve reflejado, el tamaño de un átomo es mucho más grande que el de su núcleo. Para una mejor comparación, hacemos un ejemplo, el cual es totalmente irreal, pero se hace con la idea de que se tenga un mejor panorama de entendimiento. Es decir si el átomo tuviera 1 kilómetro de tamaño, el núcleo solo sería de unos 10 centímetros. Un aspecto no menos importante, es el enunciar que no solo en el núcleo, se encuentran protones y electrones. También existes partículas denominadas neutrones, las cuales, si bien no cuentan con carga eléctrica, son muy importantes a la hora de mantener la cohesión nuclear. Si en el núcleo solo existieran electrones, o solamente protones, la fuerza de repulsión eléctrica ocasionaría que el átomo se desintegrara.

Los átomos pueden clasificarse en estables o inestables. Un átomo es estable cuando tiene completa su línea de electrones (por ejemplo, el helio es un átomo estable porque tiene 2 protones y 2 electrones), mientras que los átomos inestables es totalmente lo contrario, es decir tienen incompleta la línea de electrones.

9.6.2. Cuando un cuerpo es conductor y cuando es aislante.

Se dice que un cuerpo es conductor, cuando permiten con facilidad el paso de electrones a través de él. Por el contrario, un cuerpo es aislante, cuando no permiten el paso libre de electrones a través de su línea y periferia, siendo estos, átomos que son normalmente estables.

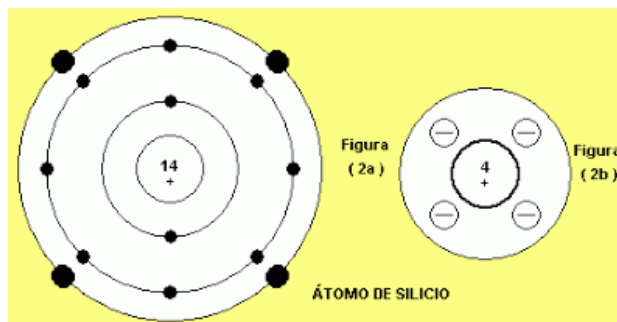
Para la generación y óptimo desarrollo y aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica, existen elementos los cuales, proporcionan una resistencia intermedia entre cuerpos conductores y aislantes, siendo denominados, elementos semiconductores. Estos elementos pueden clasificarse como elementos semiconductores intrínsecos o elementos semiconductores extrínsecos.

Todos los cuerpos semiconductores, si bien sus características principales son idénticas, no todos son iguales. A continuación se presentan los tipos de semiconductores existentes en la naturaleza.

9.6.2.1. Elementos semiconductores Intrínsecos.

La mayoría de paneles fotovoltaicos son construidos de silicio (ya que hasta ahora, es el material que produce una mayor eficiencia), el cual consta de 14 electrones y 14 protones, como se muestra en la figura 123.

Figura 123 Átomo de Silicio



Fuente: Disponible en internet: <http://biosapereade.blogspot.com/2011_09_01_archive.html>

La principal característica de un cuerpo semiconductor, es que es un átomo inestable, ya que solo posee 4 electrones de valencia. El silicio es aislante cuando se encuentra a 0 K (-273 °C), pero esto cambia a medida que la temperatura va en aumento, lo cual lleva a que se rompan enlaces covalentes y que estos a su vez, formen pares de electrones libres.

9.6.2.2. Elementos semiconductores extrínsecos.

Dentro de los cuales se encuentran el Germanio (Ge), y el Silicio (Si), y son caracterizados por contener un bajo porcentaje de impurezas. Los semiconductores extrínsecos, poseen enlaces denominados pentavalentes y trivalentes (lo que quiere decir es que el elemento se encuentra dopado). Hay dos tipos de semiconductores extrínsecos:

- ✓ Semiconductores extrínsecos tipo p: Los cuales son elementos, que se encuentran dopados con elementos trivalentes, dentro de los cuales se pueden encontrar (Al, B, Ga, In). Estos elementos son trivalentes, lo que hace que, en el momento en que una estructura cristalina es totalmente formada, dejen una vacante, dentro de la banda de valencia y hace falta 1 electrón para llenar el cuarto electrón para completar la estructura.
- ✓ Semiconductores extrínsecos tipo n: Estos diferentes a los tipo p, cuentan con enlaces pentavalentes, los cuales están en un nivel superior, y al completar este, los 4 electrones de la estructura cristalina, dejan un electrón suelto el cual no puede ser agrupado dentro de dicha estructura. Los elementos que están considerados como semiconductores extrínsecos tipo n son (As, P, Sb).

Al producirse la unión de los semiconductores tipo p con los tipo n se produce una barrera la cual es neutra, ya que al unirse un enlace trivalente con un enlace pentavalente esto conlleva al equilibrio y se iguala la unión de concentración en ambas zonas, lo cual genera el denominado efecto fotoeléctrico.

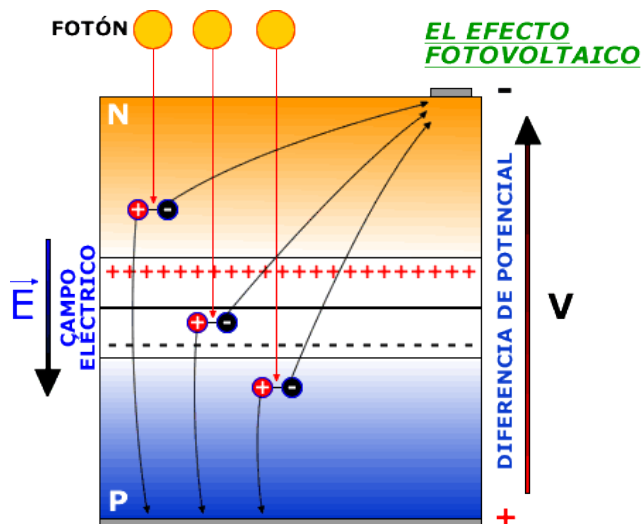
9.6.3. El efecto fotovoltaico.

El efecto fotovoltaico (FV), el cual se ve ilustrado en la figura 124. Es el proceso en el cual una célula fotovoltaica convierte la luz que proviene del sol, en electricidad. La luz solar, la cual, contiene las partículas denominadas fotones, las cuales varían su potencial energético, de acuerdo a las diferentes longitudes de onda del espectro solar. Los fotones pueden incidir sobre la célula fotovoltaica de dos formas:

- ✓ Reflejadas.
- ✓ Absorbidas: Solo los fotones que son absorbidos generan electricidad. La energía del fotón es transferida a un electrón de un átomo de la célula fotovoltaica. Al tener esta energía, el electrón pasa a formar parte una intensidad de corriente en un circuito eléctrico.

Las partes más importantes de una célula solar, son las capas semiconductoras, ya que es allí donde se crea la intensidad de corriente. Como se mencionaba en la sección anterior, la unión de los semiconductores tipo p con el tipo n, origina un campo eléctrico en la célula, siendo positivo en una parte y negativo en la otra.

Figura 124 Efecto Fotovoltaico



Fuente: Disponible en internet:

<http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_03.htm>

En un panorama más claro, cuando la luz solar incide sobre la célula, esto genera la liberación de electrones, los cuales son llevados hacia el campo eléctrico formando la corriente en el circuito. Por esta razón las células solares se fabrican de materiales semiconductores, ya que estos en ningún momento están almacenando energía. Lastimosamente, no hay un material que se considere ideal para la construcción de células, ya que el material depende del uso que se le va a dar al panel fotovoltaico; sin embargo, generalmente las células están hechas de silicio.

- ✓ Algunos de los procesos para la generación y recombinación de energía, son nombrados a continuación:
- ✓ Radiativo: Es mediante el cual, el electrón gana energía gracias a un fotón. En una célula solar, es uno de los procesos que se llevan a cabo con mayor importancia ya que allí se genera la conversión fotovoltaica, la cual primero, debe producirse la absorción de fotones.
- ✓ SRH: este proceso debe ser evitado por la célula solar ya que produce recombinación, lo cual conlleva a la producción de pérdidas en el sistema.
- ✓ AUGER: Este proceso también produce pérdidas, pero su diferencia con el proceso SRH, es que las pérdidas varían de acuerdo al tipo de material, en el cual estén fabricados las células solares.
- ✓ Superficial: Como bien su nombre lo indica, produce generación y recombinación en la superficie del material semiconductor.

9.6.4. Como se mide la energía solar fotovoltaica.

A la hora de tener una medición exacta, los expertos han diseñado un método para hacerlo. La energía solar fotovoltaica se mide de acuerdo a unas condiciones específicas:

- ✓ 1 KW/m² (1000 W/ m²) de radiación solar y 25 °C de temperatura de las células fotovoltaicas. La máxima potencia que se genera a estas condiciones por cada módulo fotovoltaico instalado se denomina W_p (vatios pico); a esta potencia es denominada potencia nominal del módulo fotovoltaico.

- ✓ La energía producida por un sistema fotovoltaico se calcula de la siguiente forma:
- ✓ Multiplicación de la potencia nominal (P_{nom}) por el número de horas al sol pico (t_{horas}), ya que no todas las horas no son consideradas como horas pico, ya que algunas no alcanzan la intensidad deseada (1 KW/m^2). Así entonces tenemos :

$$E_{producida} = P_{nom} * t_{horas} \text{ (wh/m}^2\text{)}$$

- ✓ El número de horas pico ($t_{horaspico}$) estará determinado por la división de la energía total producida $E_{producida}$ (wh/m^2) entre 1 KW/m^2 .

$$t_{horaspico} = E_{producida} / 1 \text{ KW/m}^2 \text{ (h)}$$

9.6.4.1. Elementos para medir un sistema fotovoltaico.

El instrumento que sirve para medir la energía solar es el solarímetro (figura 125). Hay dos tipos de solarímetros los cuales pueden encontrarse en el mercado:

Figura 125 Solarímetro



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.cae.it/es/soluzioni/solarimetro-HE20K.php>>

- ✓ Piranometro: posee una termocupla en su interior, la cual hace que la temperatura se pueda medir. La lectura proporcionada por la termocupla del piranometro hace medir la radiación total en un momento dado (figura 126).

Figura 126 Piranometro



Fuente: Disponible en internet:< <http://www.directindustry.es/prod/fuehlersysteme-enet-international-gmbh/piranometros-59132-486240.html>>

- ✓ Medidor fotovoltaico: es una célula, la cual es la encargada de generar la electricidad. La electricidad es medida para conocer cuanta radiación se produjo en ese instante. Estos medidores fotovoltaicos (figura 127). Si bien son más económicos que los piranómetros, tienen un valor menor de exactitud.

Figura 127 Medidor fotovoltaico



Figura: Disponible en internet:< http://energiaverde.pe/wp-content/uploads/2010/06/Manual_ES_Fotovoltaica.pdf>

9.6.5. Paneles Solares.

Los paneles solares son dispositivos que aprovechan la radiación solar para convertirla en energía eléctrica. Los paneles solares suelen dividirse en dos categorías:

- ✓ Colectores Solares: Para la conversión de energía solar térmica.
- ✓ Paneles fotovoltaicos: encargados de generar electricidad, por medio de la energía solar fotovoltaica.

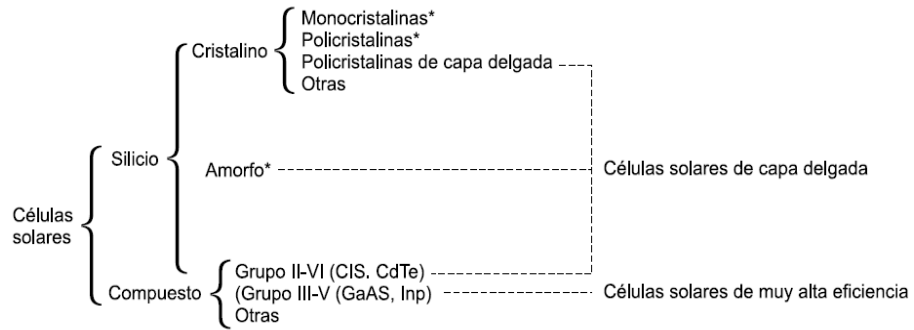
9.6.5.1. Materiales de los paneles solares fotovoltaicos.

Como se ha venido enunciando a lo largo de la sesión, el material que más se utiliza a la hora de construir un panel solar fotovoltaico, es el silicio (Si), el cual es uno de los materiales más abundantes en la tierra (después del oxígeno), ya que la combinación de ambos llega a valores cercanos del 60% de la superficie terrestre.

A lo largo de la corta historia de la energía solar fotovoltaica, han existido tres tipos de células solares construidas de silicio. . Las células solares más comunes son mostradas en la figura 128.

- ✓ Silicio Monocristalino: Estas células solares utilizan barras puras de silicio, haciéndolas las más eficientes del mercado, con eficiencias que superan el 12%.
- ✓ Silicio Policristalino: Es una derivación de las células de silicio Monocristalino, ya que se fabrica de restos de estas. Su rendimiento es inferior, pero también su costo es menor, llevando a que su uso sea muy común.
- ✓ Silicio Amorfo: Este tipo de células solares son las que poseen el menor rendimiento, lo cual conlleva a aplicaciones que no requieran de mucha potencia (relojes, calculadoras, etc.), se obtienen por deposición de pequeñas capas delgadas sobre vidrio.

Figura 128 Tipos de células fotovoltaicas



* Tecnologías más comunes y extendidas comercialmente

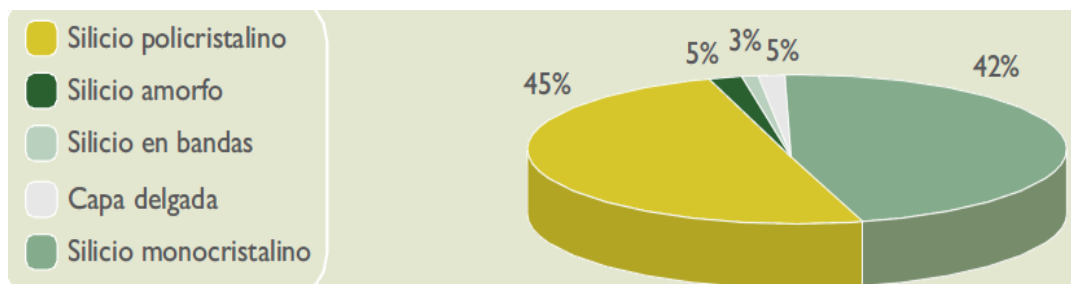
Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [265].

Cabe resaltar, que recientemente se van creando nuevos materiales para el diseño de células solares, tales como:

- ✓ Película de Silicio
- ✓ Silicio en bandas

Este tipo de nuevas tecnologías, tienen características tales (son flexibles lo que las hace más fáciles de usar). En el mercado su producción aún es muy pequeña pero va en aumento rápidamente. En la figura 129. Se puede apreciar el porcentaje de paneles fotovoltaicos diseñados de acuerdo a su material.

Figura 129 Porcentaje de producción de celulares solares de distintos materiales



Fuente: Libro, Energías renovables y eficiencia energética [66].

9.6.5.2. Evolución de la eficiencia de las células solares.

Las células solares en su aparición, a mediados del siglo XX, tenían apenas unas bajas eficiencias cercanas al 6%, pero con el aumento del tiempo y de los años, estas eficiencias fueron mejorando considerablemente, ya que fueron reemplazadas por nuevos materiales y nuevas tecnologías, cuyos estudios demostraron que eran más eficientes y optimas de acuerdo al uso de los paneles fotovoltaicos. Las estructuras hoy en día han llegado a mejorar su eficiencia llegando a valores cercanos del 24%, un gran avance si se tiene en cuenta que esta tecnología y el uso de la energía solar fotovoltaica puede considerarse como una energía moderna.

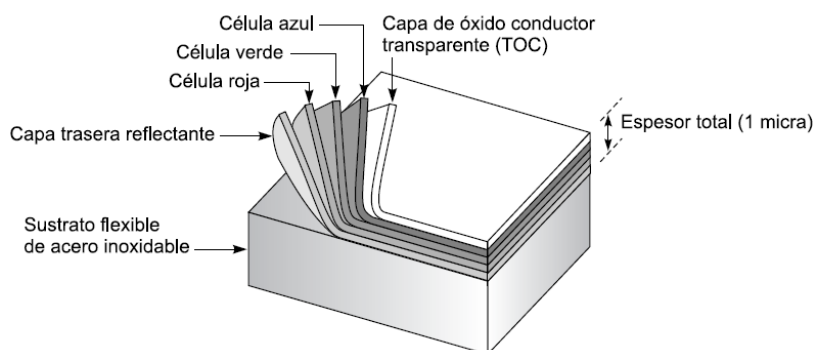
9.6.5.2.1. Últimas investigaciones en células solares.

Cada día, expertos están estudiando nuevos materiales y nuevas a tecnologías en las células solares, con el fin de mejorar su rendimiento, algunas de estas nuevas investigaciones, son enunciadas a continuación:

- ✓ Células bifaciales de fósforo boro: Estas células solares, tienen características, la cual la cara frontal (dopada con boro), alcanza una eficiencia de alrededor del 18% y la cara posterior (dopada con fosforo), logra alcanzar eficiencias del 19%. Este tipo de células, pueden integrarse en paneles bifaciales, los cuales aprovechan la luz que es reflejada en la cara posterior, para que la conversión de energía aumente. Entre sus usos más comunes, se encuentran los concentradores estáticos.
- ✓ Tecnología de triple unión: en este tipo de tecnología, tres capas semiconductoras son montadas una sobre otra (figura 130). La célula superior absorbe la luz azul, la central con la luz verde/amarilla y la célula inferior con la roja respectivamente. Su principal característica, es que puede absorber en gran cantidad el espectro solar, lo cual la hace una tecnología con una eficiencia considerablemente alta; siempre y cuando se presente luz

difusa o bajos niveles de irradiación. Sus aplicaciones van desde pequeños módulos que requieren poca potencia, hasta aplicaciones de alto voltaje que van conectadas a la red eléctrica.

Figura 130 Tecnología de triple unión



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [264].

- ✓ Células fotoelectroquímicas: Es un tipo de célula, basada en semiconductores nanoestructurados sensibilizados con colorante y de tipo regenerativo y transparente. Tiene una eficiencia de conversión de la energía solar a eléctrica promedio de alrededor del 11%. Su uso aun no es muy común, pero su construcción es a bajo coste lo que la hace ser llamativa para mayores usos en un futuro.
- ✓ Nanotecnología: Aunque aún están en estudio, según expertos, se dice que este tipo de células podrían reducir considerablemente los costos de fabricación de estas. Los materiales de los cuales, están compuestas estas células, son plásticos (flexibles y económicos) y pueden ir superpuestas sobre cualquier superficie para que se pueda presentar la generación de electricidad. Por el momento la eficiencia de este tipo de células solares es aún muy pequeña, ya que ni siquiera una eficiencia del 2%, pero que tiene fuertes tendencias a mejorar.

- ✓ Células solares supereficientes: este tipo de células alcanzan una eficiencia del 30%, pero un punto negativo es que los materiales de la célula solo pueden aprovechar la energía de los fotones hasta cierto punto. Dentro de sus principales funciones y aplicaciones, es la de alargar la vida de los paneles solares que están ubicados en el espacio exterior dentro de los satélites, haciéndolos más fuertes a choques cósmicos y a temperaturas que sean demasiado elevadas.

9.6.6. Parámetros de funcionamiento de una célula solar.

Los parámetros que están implicados a la hora de analizar una celular solar, son los siguientes:

- ✓ Corriente de cortocircuito (I_{sc}): es la máxima corriente que se puede obtener de la célula.
- ✓ Tensión de circuito abierto (V_{oc}): constituye el máximo voltaje que se extrae de una célula solar.
- ✓ Potencia máxima (P_{max}): Producto del voltaje por la corriente.
- ✓ Factor de forma (F_f): Relacionado con la potencia máxima, corriente y tensión de la siguiente forma:

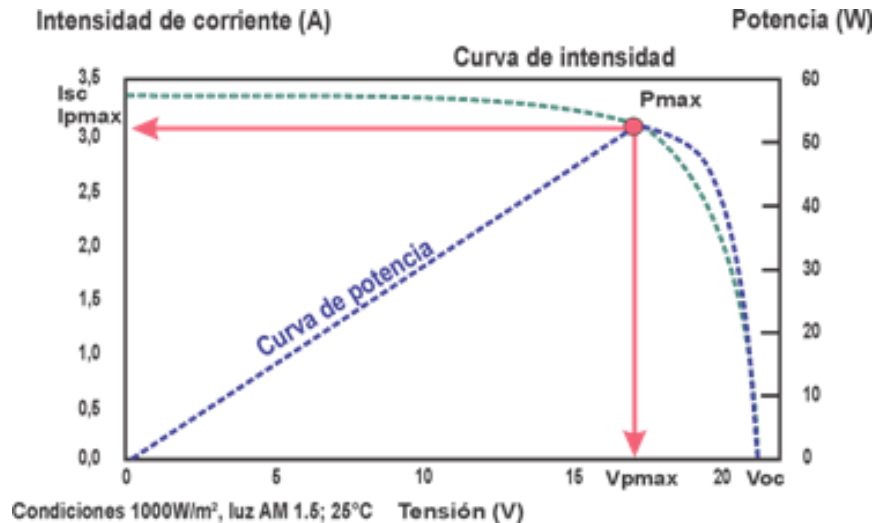
$$F_f = \frac{P_{max}}{I_{sc} * V_{oc}}$$

- ✓ Eficiencia(η): Define el funcionamiento de la célula solar, definida por la potencia máxima (P_{max}) y la potencia que incide sobre ella, recordando que la potencia incidente es aproximadamente 1 Kw/m^2 y A el área de la célula solar.

$$\eta = \frac{P_{max}}{1 \frac{\text{Kw}}{\text{m}^2} * A}$$

En la figura 131. Se ven representados los parámetros de la célula solar descritos a un área y temperatura especificadas.

Figura 131 Parámetros de una célula fotovoltaica en función de la corriente y el voltaje



Fuente: Disponible en internet:< <http://www.monografias.com/trabajos82/energia-solar-fotovoltaica-y-sus-aplicaciones/energia-solar-fotovoltaica-y-sus-aplicaciones2.shtml>>

9.6.7. Donde y como deben instalarse los paneles solares para un mejor aprovechamiento de la energía.

Los paneles fotovoltaicos se pueden instalar en zonas urbanas (cubiertas de apartamentos, etc.), y en algunas específicas de los edificios (balcones, azoteas, patios, terrazas, etc.).El principal aspecto a la hora de ubicar un panel fotovoltaico es:

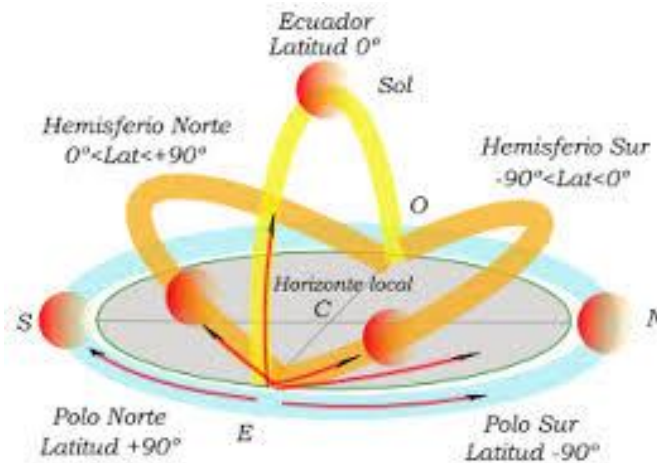
- ✓ No existen obstáculos que les puedan dar sombra tales como (otros edificios aledaños, vegetación espesa, elementos de construcción, etc.).

Para una óptima instalación de los paneles solares se deben tener en cuenta otros aspectos, ya que no siempre se instalan de la misma forma y en la misma posición.

Una correcta instalación de un panel fotovoltaico debe hacerse de la siguiente manera:

- ✓ Sabiendo que el sol sale por el oeste, desplazándose en dirección sur y ocultándose por el oeste, observándose las posiciones del sol, para aprovechar al máximo la luz solar, la orientación de los paneles solares, se hace hacia el norte en el hemisferio sur y hacia el sur en el hemisferio norte (figura 132), así los paneles solares se deben instalar siempre mirando hacia el Ecuador.
- ✓ Otro aspecto importante, es que los módulos fotovoltaicos dependen de la latitud del lugar donde se vayan a instalar y según la tipología: ya que como se vio en secciones anteriores, la tipología se clasifica en sistemas aislados o sistemas conectados a la red eléctrica. A continuación se presenta las características para estos dos sistemas.

Figura 132 Recorrido del sol en el hemisferio norte y hemisferio sur



Fuente: Disponible en internet: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Equinoccio>>

9.6.8. Descripción y características de un sistema fotovoltaico.

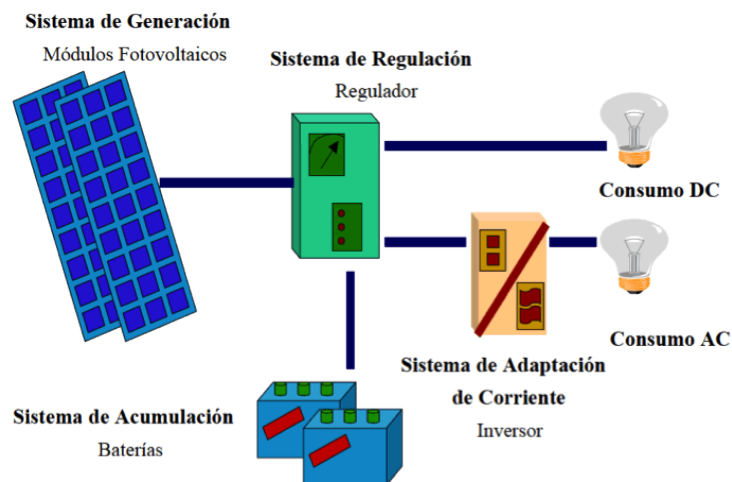
En la siguientes secciones se enunciarán las diferentes características de los sistemas fotovoltaicos, tanto aislados como conectados a la red eléctrica.

9.6.8.1. Sistemas fotovoltaicos aislados (autónomos).

Para sistemas aislados la inclinación de los módulos oscila entre 10° más que la latitud, ya que se debe garantizar la producción de electricidad durante todo el año. En este caso se presentan los meses críticos cuando se está en la estación de invierno, ya que en estos meses se presenta menor radiación solar, por lo tanto esta inclinación debe tomar este valor para asegurarse de que la energía se genere. En meses donde la radiación solar es alta como en verano, los módulos fotovoltaicos pueden estar inclinados en menor proporción. Generalmente, estos sistemas aislados son de poca potencia (máxima hasta 10kw).

En regiones rurales o aisladas los sistemas fotovoltaicos presentan una importante solución para garantizar las comunicaciones y la luz eléctrica. A diferencia de los sistemas que se encuentran conectados a la red eléctrica (los cuales se observaran en la siguiente sesión), estos sistemas requieren de baterías para almacenar la energía que posteriormente será consumida día tras día. En la figura 133. Se vislumbra un esquema de una instalación fotovoltaica aislada básica. A continuación se enuncian las principales características de un esquema fotovoltaico aislado.

Figura 133 Esquema de una instalación autónoma



Fuente: Disponible en internet: < <http://www.sfe-solar.com/calculo-sistemas-fotovoltaicos-aislados-autonomos/> >

- ✓ Módulos fotovoltaicos: Son los que se encargan de la generación de energía eléctrica. Existen de varios tipos, cuyos cuales los más utilizados son los paneles policristalinos y monocristalinos enunciados anteriormente.
- ✓ Baterías: Encargadas de acumular la energía eléctrica que es generada por el sistema fotovoltaico para su aprovechamiento en las horas del día donde no el sol no esté presente, o en épocas donde halla poca radiación solar. Usualmente, se usan baterías de plomo acido, las cuales tienen ventajas, como permanecer en un largo tiempo cargadas y soportar descargas de forma esporádica.
- ✓ Regulador: Es el encargado de controlar la carga de las baterías, igualmente encargada de las descargas y evitar una sobre descarga o una sobrecarga. Para ejemplos prácticos, un regulador es un interruptor, el cual se encuentra normalmente cerrado y conectado en serie entre las baterías y los módulos fotovoltaicos para el proceso de carga y se encuentra normalmente abierto cuando la batería se encuentra cargada totalmente. Las intensidades que maneje el regulador dependen de la potencia que posean los módulos fotovoltaicos.
- ✓ Inversor: El inversor es utilizado cuando se manejan cargas mayores a los 230 V_{oc} , ya que como la tensión es tan alta, se necesita de un equipo que transforme la corriente continua que proviene del regulador, en corriente alterna, para que esta alimente las cargas.

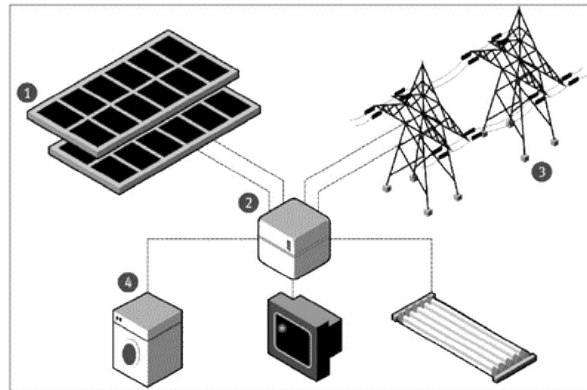
9.6.8.2. Sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica.

En este caso lo que se busca es la máxima producción eléctrica durante el año. Para conseguir esto, los módulos fotovoltaicos deben tener entre 5° y 10° menos que la latitud del lugar.

Estos sistemas poseen un generador de tipo fotovoltaico, el cual es acoplado a un inversor, y este a su vez actúa de forma paralela con la red eléctrica convencional. Posee diversos tipos de aplicaciones, desde las cuales van las aplicaciones pequeñas (que generan potencia de solo unos pocos KWp), hasta aplicaciones que

incluyen centrales solares fotovoltaicas (que llegan a producir MWp). En la figura 134. Se puede observar un sistema fotovoltaico conectado a la red. Las siguientes son las características de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica:

Figura 134 Sistema fotovoltaico conectado a la red



Fuente: Disponible en internet:

<<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia38/HTML/articulo02.htm>>

- ✓ Inversor: cuyo principio de funcionamiento es básicamente el mismo, tanto para un sistema aislado como para un sistema conectado a la red eléctrica.
- ✓ Dispositivo de intercambio con la red eléctrica: este dispositivo sirve, para que la energía eléctrica que es conducida a la red, tenga todas las condiciones mínimas requeridas por la misma.
- ✓ Contador de energía bidireccional: este dispositivo mide toda la energía producida por el sistema fotovoltaico, durante su periodo de funcionamiento, el cual es capaz de medir la energía en ambos sentidos, así se puede conocer, cuando el sistema es óptimo para generar energía y cuando no.

9.6.8.3. Ventajas de los sistemas fotovoltaicos.

Dentro de las principales ventajas que se pueden encontrar en los sistemas fotovoltaicos descritos anteriormente están:

- ✓ Esta energía es más ecológica y económica.
- ✓ Son fáciles y rápidos de instalar sobre cualquier área de aparcamiento, la cual se encuentre bien ubicada para que reciba la radiación solar y que sea carente de sombras que impidan su óptimo funcionamiento.
- ✓ Ocupan poco espacio, solamente el espacio del edificio o la zona donde vayan a ser instalados.
- ✓ Los costos de operación y mantenimiento son más bajos a los producidos por las termoeléctricas.
- ✓ No producen efectos nocivos ni contaminación.
- ✓ La reparación y cambio de alguno de sus componentes es económica.
- ✓ Los reguladores de carga tienen un alto porcentaje de vida útil.
- ✓ La energía solo se produce donde la situación lo requiera y no hay necesidad de ver extensiones de redes eléctricas.

9.7. Centrales solares fotovoltaicas.

Existen diversos tipos de centrales solares fotovoltaicas las cuales se clasifican en:

- ✓ Instalaciones con aprovechamiento de estructuras.
- ✓ Planta fotovoltaica
- ✓ Huertas solares

9.7.1. Instalaciones con aprovechamiento de estructuras.

Estas instalaciones las cuales son apoyadas directa o indirectamente sobre fachadas, voladizos, tejados y demás estructuras que se puedan encontrar.

Una solución útil del tipo industrial comercial y doméstico, es la instalación de tejados fotovoltaicos, ya que mediante estos tejados, el cliente está contribuyendo a un suministro eléctrico limpio y totalmente independiente. Este tipo de tejados, su uso común, cuando los clientes se encuentren aislados o no pertenezcan al servicio de conexión de la red eléctrica.

Estas instalaciones de una central eléctrica fotovoltaica Figura 135. Dependen del tipo de estructura que maneje el edificio, ya que se colocan módulos de silicio convencional, si la resistencia del tejado es fuerte, o por el contrario módulos tipo film, si el techo es de carácter débil.

Figura 135 Central Solar Fotovoltaica



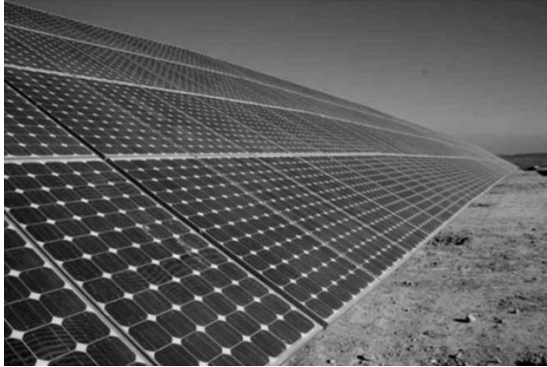
Fuente: Fuente: Libro, Energías renovables y eficiencia energética [72].

9.7.2. Planta Fotovoltaica.

Estas centrales solare fotovoltaicas pueden ser de dos tipos:

- ✓ Estáticas: este tipo de plantas (figura 136), no permite que el modulo fotovoltaico pueda moverse para que quede en dirección del sol en todo momento, y así aprovechar de una manera óptima todo su potencial de energía solar. Si bien el modulo fotovoltaico no se puede mover, si se puede regular la inclinación del módulo, haciendo que sea diferente para verano e invierno. Para estas centrales su instalación es de tipo convencional y deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:
 - ✓ Disponibilidad de conexión a la red
 - ✓ Orografía
 - ✓ El clima

Figura 136 Planta fotovoltaica de estructura estática



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [302].

- ✓ Con seguidores: estas plantas pueden ser de uno o dos seguidores (figura 137). Este tipo de plantas, permite un seguimiento más exacto del sol, lo cual la hace un tipo de planta con un rendimiento mucho más elevado que las plantas tipo estáticas. Esta tecnología es adecuada, donde existe una media y una alta radiación. Posee características tales como:
 - ✓ Tecnología demostrada desde hace años.
 - ✓ Posee un mercado muy extenso.
 - ✓ Pueden utilizarse tecnologías convencionales o tipo thin film.

Figura 137 Plantas fotovoltaicas con seguidores



Fuente: Disponible en internet: < http://www.mecasolar.com/_bin/noticia.php?anno=2007>

9.7.3. Huertas Solares.

Una central solar fotovoltaica de denominación huerta solar figura 138. Es cuando un conjunto de instalaciones solares son ubicadas en el mismo lugar. Cada instalación de huertas solares posee una potencia cercana a los 5 KW, y si se generan varias instalaciones su potencia puede alcanzar valores de hasta 35 KW. Este tipo de centrales ofrecen la posibilidad a los clientes de poseer pequeñas instalaciones solares fotovoltaicas en una parcela. Los costos se ven reducidos al compartir el terreno. Los elementos que componen una huerta solar son los mismos que fueron enunciados en secciones anteriores.

Este tipo de centrales solares usualmente son ubicadas en sitios donde la radiación solar es alta y donde es posible utilizarla con mayor cantidad de horas al sol por día. Las huertas solares tienen grandes aspectos positivos y favorables tales como:

- ✓ Bajo costo a los clientes
- ✓ Favorece al medio ambiente

Figura 138 Huerta Solar



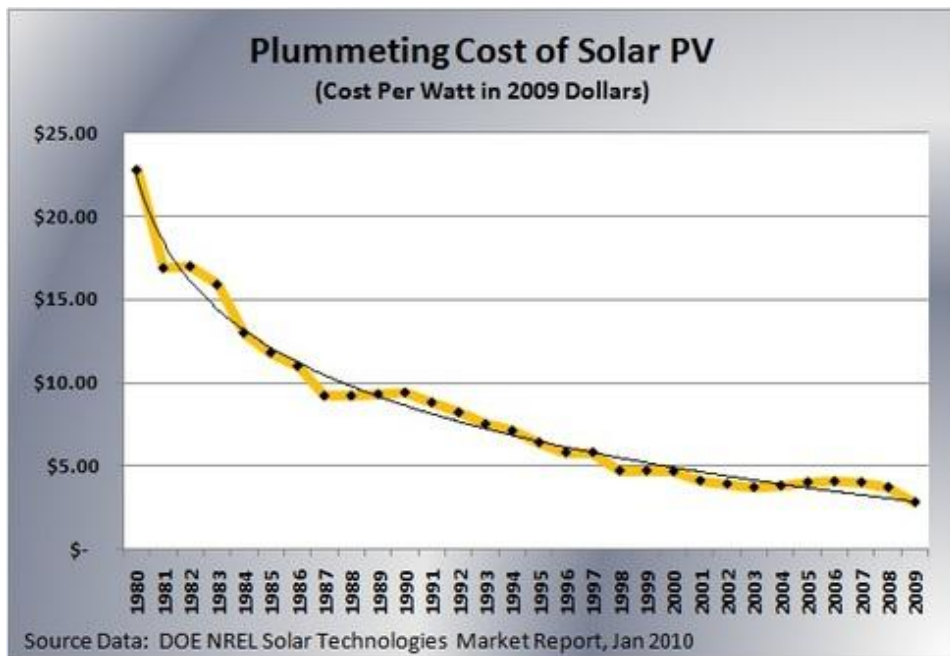
Fuente: Disponible en internet: <<http://www.qualenergia.it/articoli/20140520-milk-sun-a-intersolar-con-un-nuovo-tool-di-vendita-online-progetti-solari>>

9.8. Costos de la energía solar fotovoltaica.

En la actualidad la energía solar fotovoltaica es una de las energías renovables, que va en un aumento cada día y con grandes alternativas de seguir avanzando en el campo mundial.

En los últimos 30 años los costos de la energía solar fotovoltaica se han visto reducidos más de 10 veces, esto se ve reflejado, ya que la demanda de módulos fotovoltaicos va en aumento cada día, y esto hace que los precios presenten una disminución considerable. En la figura 139. Se puede visualizar la disminución de los costos de la energía solar fotovoltaica en los últimos años.

Figura 139 Costos de la energía solar fotovoltaica 1980-2009



Fuente: Disponible en internet: < <http://www.eoi.es/blogs/meerron/2013/01/21/evolucion-de-los-precios-de-la-energia-solar-fotovoltaica-y-la-paridad-de-red/>>

El costo de cada KWh que se obtiene mediante un sistema fotovoltaico depende de varios factores:

- ✓ Costo de la instalación

- ✓ Coste de explotación
- ✓ Energía producida: La cual depende de la radiación solar

9.8.1. Costo de la instalación.

El costo de la instalación depende de varios factores:

- ✓ Sistema de captación energética: este costo es disminuido en función de la potencia. Este coste puede oscilar entre 8 Euros/W, para potencias relativamente pequeñas y 4.5 Euros/W, para potencias que alcancen los 10Kw.
- ✓ Sistema de acumulación: Depende del tamaño de la instalación. El costo puede variar entre 500 Euros a 2500 Euros.
- ✓ Sistema de regulación: depende del número de módulos fotovoltaicos a instalarse. Así para un sistema que contenga de 15 a 30 módulos el costo oscila entre 120 Euros y 400 Euros, pero si se aumenta el número de módulos el costo varía entre 300 Euros a 1000 Euros.
- ✓ Sistema de adaptación de corriente: Depende específicamente de los clientes. El coste puede tomarse como un modelo lineal con la potencia de salida. Los costos estimados para este sistema varían desde los 600 Euros hasta valores cercanos a los 3000 Euros.

Un caso aplicado sería, si se tiene una instalación de alrededor de 1 KW, aislado de la red eléctrica con una producción media de 2000 Kwh/año, el coste de Kwh/año, sería de aproximadamente 0.8 Euros.

En cambio sí se conecta una instalación de 2 KW que se encuentre conectada al sistema de redes eléctricas con una producción media de 4000 KWh/año, este coste promedio del Kwh/año, sería de aproximadamente 0.4 Euros.

9.9. Desarrollo y avance de la energía solar Fotovoltaica en Colombia.

Aunque hay dos tipos de instalaciones solares fotovoltaicas (conectadas a la red y aisladas), en Colombia por el momento solo se están instalando instalaciones solares fotovoltaicas aisladas, ya que las políticas que regulan las instalaciones

solares fotovoltaicas conectadas a la red, son casi nulas en el país. Estos sistemas conectados a la red son más comúnmente usados en Estados Unidos y Europa.

Infortunadamente, en Colombia por ahora, las posibilidades de una construcción de una central solar son muy escasas, ya que como se enunciaba anteriormente no hay políticas públicas de financiación como en los países desarrollados. Se estima que la instalación de una planta solar, cuesta aproximadamente 20 veces más que una planta normal, pero que no cuenta con gastos de mantenimiento.

Aunque los avances en el país no son de consideración, si ha habido un desarrollo de la capacidad de ingeniería alrededor de los sistemas fotovoltaicos. Las aplicaciones fotovoltaicas que han tenido un desarrollo mayoritario en Colombia son:

- ✓ Radiotelecomunicaciones (Empresas como Telecom han usado esta tecnología, ya que esta empresa tiene gran cobertura en zonas rurales).
- ✓ Puestos de salud
- ✓ Boyas
- ✓ Oleoductos y gasoductos

Como bien se enuncio antes, los sistemas fotovoltaicos en el país, son instalados principalmente en zonas rurales que no están dentro del sistema de interconexión nacional, como el caso de los llanos orientales.

Para enunciar algún ejemplo en concreto, uno de los proyectos más importantes en Colombia, se encuentra ubicado en el Centro Solar Comunal de La Venturosa, en el departamento del Vichada, el cual tiene la capacidad de proveer electricidad alrededor de 40 familias y a una escuela durante las 24 horas del día.

El ICEL (Instituto Colombiano de Energía Eléctrica), es una de las entidades que más se ha preocupado por el desarrollo de la energía solar fotovoltaica en Colombia. El ICEL ha llevado a cabo cerca de 370 sistemas fotovoltaicos individuales, los cuales constan de los elementos mencionados anteriormente (modulo fotovoltaico,

batería, regulador, tomacorrientes y lámparas fluorescentes). Estos sistemas han sido instalados en:

- ✓ Departamento del Guaviare
- ✓ Departamento del Vichada
- ✓ Departamento del Guainía
- ✓ Departamento del Vaupés
- ✓ Departamento de la Amazonia

Por otra parte, en el departamento de la Guajira, el hospital Nazaret cuenta con el suministro de energía debido a un sistema híbrido (solar fotovoltaico-Diesel).

En Colombia, la mayoría de elementos de los sistemas fotovoltaicos son de origen importado liderando Estados Unidos (figura 140), el país al que Colombia pide más productos de importación a nivel mundial de origen fotovoltaico.

Figura 140 Principales Países Importadores de Materiales Semiconductores a Colombia

| Origen de las importaciones de dispositivos semiconductores fotosensibles | | |
|--|-------------------------|-------------|
| Países | Inversión (US\$) | % |
| Estados Unidos | 770.941,00 | 43,46% |
| China | 232.199,00 | 13,09% |
| Hong Kong | 230.938,00 | 13,02% |
| Alemania | 171.627,00 | 9,68% |
| Francia | 120.887,00 | 6,81% |
| Taiwán | 69.313,00 | 3,91% |
| Suiza | 35.948,00 | 2,03% |
| Italia | 31.314,00 | 1,77% |
| Australia | 23.369,00 | 1,32% |
| Bélgica - Luxemburgo | 18.772,00 | 1,06% |
| Otros | 68.531,00 | 3,86% |
| Total | 1.773.839,00 | 100% |

Fuente: Angles Ortiz Rafael E y otros: "Energía renovable en Colombia" [32].

9.10. Impacto medioambiental por utilizar la energía solar fotovoltaica.

Estos impactos dependen del sistema fotovoltaico que se esté utilizando (sistema aislado o sistema conectado a la red eléctrica).

9.10.1. Impacto medioambiental por utilizar la energía solar fotovoltaica en sistema aislado.

Para un sistema aislado los impactos, usualmente son mínimos y están relacionados con:

- ✓ Impacto Visual
- ✓ Paisaje

9.10.2. Impacto medioambiental por utilizar la energía solar fotovoltaica en sistema conectado a la red eléctrica.

Para este tipo de sistemas sus principales impactos son:

- ✓ Paisajísticos.
- ✓ Dependiendo del suelo que ocupe la central solar fotovoltaica.
- ✓ Se requiere gran cantidad de energía para producir los paneles solares.
- ✓ Los paneles solares pueden tener objetos peligrosos y cancerígenos

9.10.3. Aspectos positivos a la hora de utilizar energía solar fotovoltaica.

Por otra parte la energía solar fotovoltaica tiene muchos aspectos positivos:

- ✓ Benigna con el medio ambiente
- ✓ No produce ruido
- ✓ No produce polución química
- ✓ Ideal para ambientes urbanos
- ✓ No requiere ningún tipo de combustión (lo cual no produce CO₂)
- ✓ Erosionabilidad del suelo prácticamente nula

- ✓ No se produce alteración de los acuíferos
- ✓ Los sistemas fotovoltaicos son sistemas silenciosos

9.11. Conclusiones.

- ✓ La energía solar fotovoltaica es una energía moderna la cual no posee ni 2 siglos desde que se empezó a utilizar. A través de su corta historia ha tenido grandes avances y diferentes aplicaciones las cuales al principio no eran muy eficientes pero hoy en día, los sistemas fotovoltaicos han alcanzado eficiencias cercanas al 30%.
- ✓ Las instalaciones solares fotovoltaicas suelen ser de dos tipos: sistemas aislados los cuales son totalmente autónomos, y sistemas conectados a la red eléctrica los cuales pueden transformar la energía solar en energía eléctrica y conectarla a la red.
- ✓ Algunas de las aplicaciones solares fotovoltaicas son: electrificación de zonas rurales, aplicaciones agrícolas y ganaderas, y grandes centrales solares fotovoltaicas, entre otras.
- ✓ Para entender un sistema fotovoltaico, se deben estudiar los fundamentos físicos, tales como, de que está compuesto el átomo y como es su funcionamiento, también cuando un material es conductor (es cuando permite el flujo de electrones a través de él) y cuando un cuerpo es aislante (cuando no se produce el intercambio de electrones a través del cuerpo).
- ✓ Los materiales más óptimos a la hora de diseñar un módulo fotovoltaico son los materiales semiconductores, el cual más utilizado es el silicio, que es un material abundante en la tierra, el cual ha sido demostrado es el que posee más rendimiento en un sistema fotovoltaico.
- ✓ La energía solar fotovoltaica se mide de acuerdo a unos parámetros específicos (hemisferio donde se desee hacer la instalación fotovoltaica, temperatura, horas sol promedio al día, etc.).

- ✓ Para instalar un sistema fotovoltaico apropiado, este debe contar con los siguientes elementos básicos (módulos fotovoltaicos, sistemas de acumulación, dentro de los cuales encontramos las baterías, sistemas de regulación, un sistema de adaptación de corriente y las bombillas o elementos donde se va a producir la electricidad).
- ✓ Hay diversas ventajas de utilizar sistemas fotovoltaicos, la cual ubica a la energía solar fotovoltaica como una energía ecológica y económica, fácil de instalar, reparación de componentes económicos, entre otros.
- ✓ Existen diferentes tipos de centrales solares fotovoltaicas, instalaciones con aprovechamiento de estructuras (las cuales son apoyadas indirectamente sobre fachadas), plantas fotovoltaicas (las cuales pueden ser estáticas o con seguidores), y huertas solares (que son conjuntos de instalaciones solares ubicadas en el mismo lugar).
- ✓ Los costos de la energía solar fotovoltaica han venido decreciendo considerablemente en los últimos años, debido a que cada día, la demanda de empresas fabricantes de paneles fotovoltaicos va en aumento lo que hace que exista una mayor competencia, siendo esto beneficioso para los clientes, que pueden acceder a ellos de una manera más económica.
- ✓ El avance y desarrollo de la energía solar fotovoltaica en Colombia, no tiene grandes avances, pero su desarrollo ha ido creciendo poco a poco. Los mayores avances se pueden visualizar en departamentos de los llanos orientales, la Amazonia y la Guajira.
- ✓ Hay algunos aspectos negativos sobre el medio ambiente de la energía solar fotovoltaica, tales como: impacto visual, sobre el paisaje y algunos paneles solares pueden contener elementos de uso cancerígeno. Dentro de los aspectos positivos, se considera la energía solar fotovoltaica como una energía benigna para el medio ambiente.

10. ENERGÍA EÓLICA

10.1. Introducción.

La presente sesión trata el tema de la energía eólica en Colombia, esta investigación está basada en la necesidad que tiene el país en buscar otras diferentes fuentes de energía ya que inevitable el agotamiento de las fuentes de energía tradicionales.

La característica principal de esta energía es que se está aprovechando el viento, el cual se está transformando el movimiento del viento en energía eléctrica y este movimiento es generado de forma natural.

Ya que en Colombia hay regiones que tienen gran potencial de energía eólica, es necesario aprovechar estos recursos y mirar la energía renovable como una solución.

10.2. Objetivos.

10.2.1. Objetivo general.

Explicar la sesión de producción de energía eléctrica en Colombia y el mundo por medio de energía eólica y el aprovechamiento que se le puede dar a esta energía renovable.

10.2.1.1. Objetivos específicos.

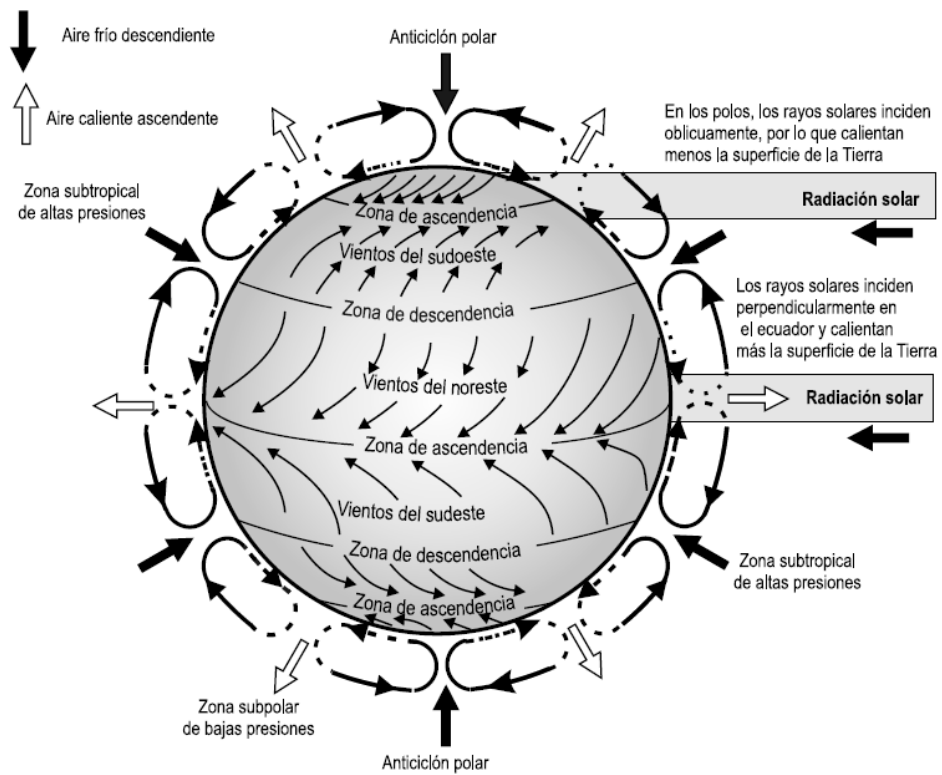
- ✓ Identificar las regiones que en Colombia cuentan con un potencial para el aprovechamiento de esta energía.
- ✓ Conocer los sistemas utilizados y la facilidad que tienen para la instalación y la generación de energía eléctrica.
- ✓ Conocer los diferentes vientos que se ocasionan por el cambio de densidades.

10.3. El viento.

El viento es originado por la radiación solar incidente en los distintos puntos del planeta Tierra, y a su vez es originado por la rotación del planeta. En el Ecuador los rayos solares inciden perpendicularmente y calientan más la superficie de la Tierra que en otros puntos más alejados como en los polos, allí inciden oblicuamente, lo que calienta menos la superficie de la Tierra, generando diferentes zonas térmicas, lo que provoca que el aire se caliente a diferentes temperaturas y cambie su densidad, esto se produce debido al aumento de choque de partículas que se presenta cuando aumenta la temperatura en el aire, lo que hace que el volumen entre ellas aumente y la densidad cambie. El aire además de estar influenciado por la temperatura, está sujeto a la rotación de la Tierra lo que provoca la aparición de la fuerza conocida como Coriolis.

Estas fuerzas generan lo que se conocen como los vientos del oeste y el este, en la figura se ven unos factores que influyen sobre el aire, aunque hay muchos más factores que influyen que harían que el análisis sea más complejo lo anterior puede verse en la figura 141. Como el movimiento de traslación de la tierra o el cambio de densidad del aire en el mar o en la tierra ya que son distintas o las estaciones del año en diferentes lugares.

Figura 141 Efecto de las fuerzas sobre la atmosfera



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables

[337]

En la figura podemos ver el movimiento del aire en las zonas de que son ascendentes o descendientes, además de la rotación del aire que se genera en las diferentes zonas como las zonas subpolares y las zonas subtropicales y la incidencia de los rayos solares.

En si para resumir se puede decir que los factores que influyen en una zona específica son:

- ✓ Situación geográfica
- ✓ Topografía de la zona
- ✓ Irregularidades del terreno
- ✓ Características climáticas locales

10.4. Potencial del viento.

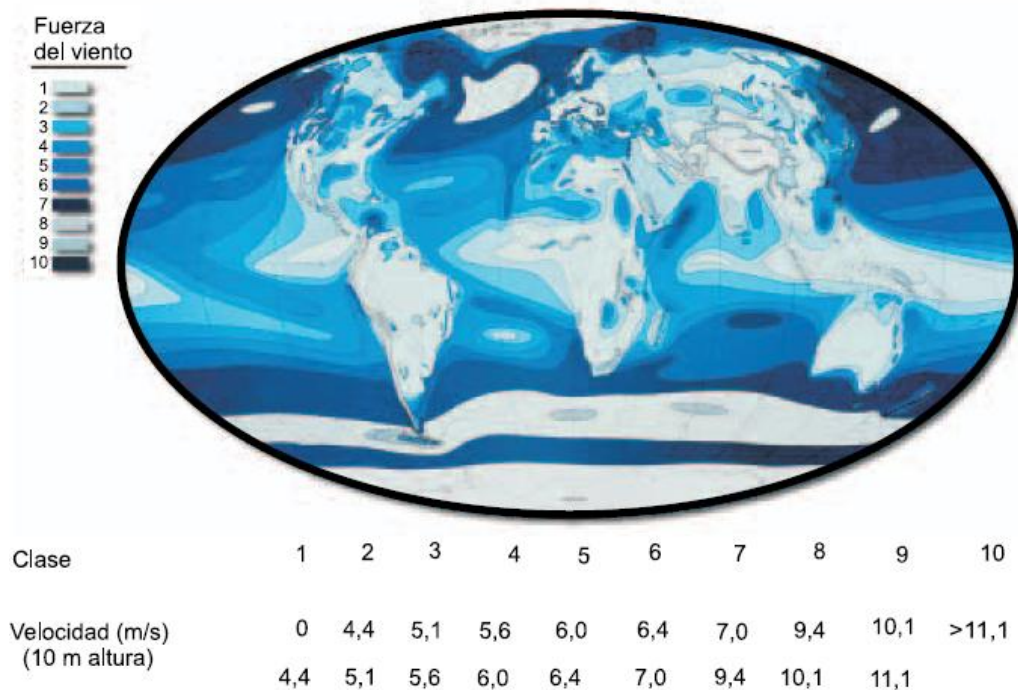
El 2% de la energía solar que llega a la tierra se convierte en energía eólica, el cual está entre $2,5 \cdot 10^5$ y $5 \cdot 10^5$ KWh, pero solo una parte de esta energía se puede aprovechar y a que esta energía es muy diluida esta distribución puede verse en la figura 142.

Para valorar el potencial de energía eólica, se hace una valoración de los recursos de cierta población, esta valoración se hace de manera empírica. Esta información se recoge y se analiza en base con las visitas realizadas y la topografía de la región como también la vegetación.

En este estudio lo que busca en identificar los lugares con alto niveles de velocidad del viento, pero esto no es suficiente ya que hay que conocer la dirección de los vientos y los cambios de las propiedades de la atmósferas.

El anemómetro es un instrumento usado para medir directamente los movimientos atmosféricos, estos se pueden clasificar en tres categorías, anemómetro de rotación, anemómetro de presión y otros.

Figura 142 Distribución del Potencial Eólico



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables, [337]

10.5. Velocidad del viento en Colombia.

Los vientos que estén entre 5 m/s y mayores son considerados como actos para la generación de energía, en Colombia la península de guajira es la única que puede mantener este rango ya que durante todo el año el viento en este lugar del país está entre 5 m/s y 11 m/s, mientras que en otra zonas del país hay variación por debajo de 5 m/s en la tabla 6. Se muestra los valores de vientos en Colombia y posteriormente en la figura 143 podemos ver el mapa de viento en Colombia.

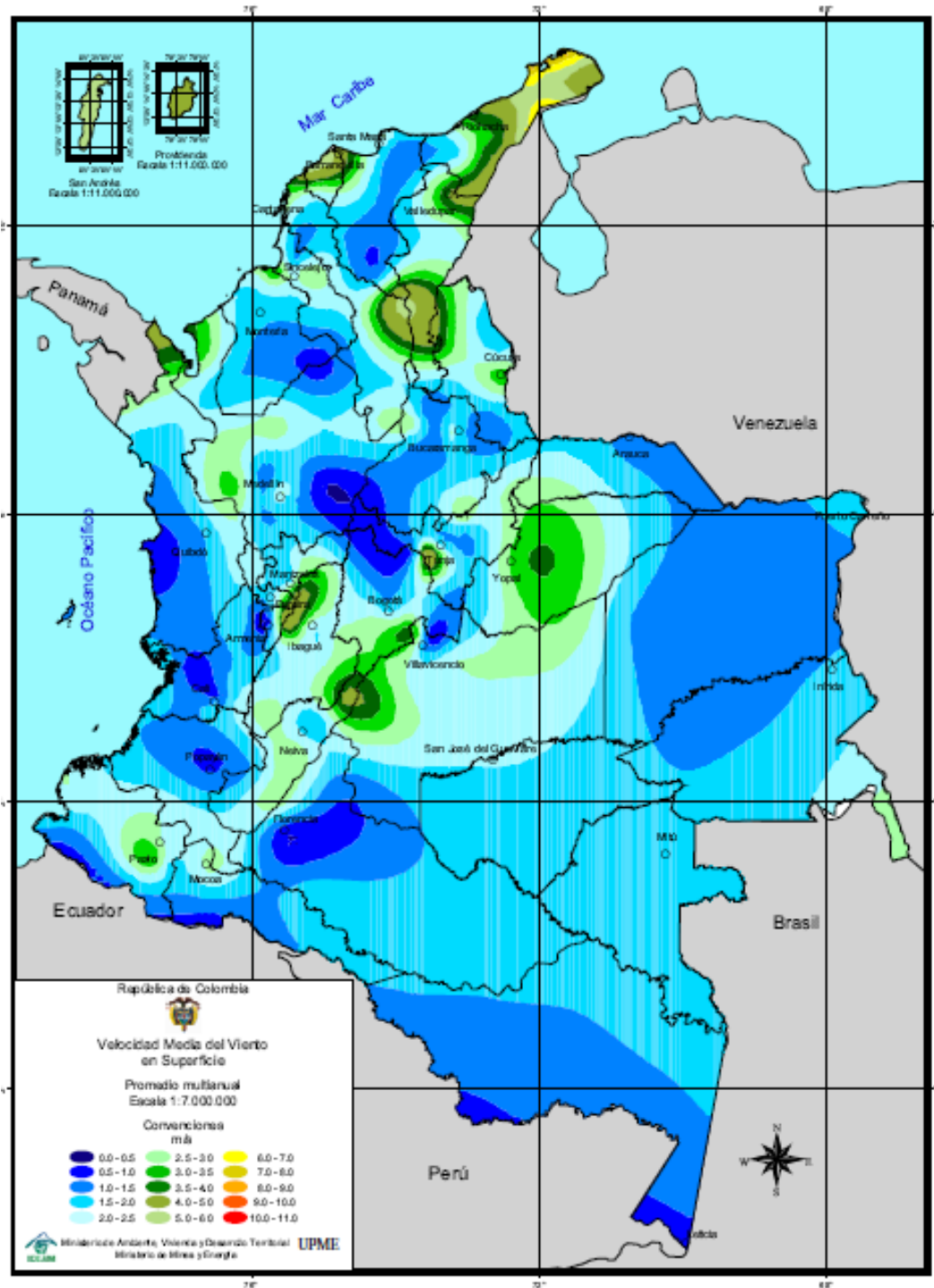
Tabla 6 Velocidades del viento en la superficie Colombiana

| Velocidades m/s | Época del año (meses) | Zonas del país |
|-----------------|-----------------------|--|
| 4 m/s | Diciembre- abril | <ul style="list-style-type: none"> • Golfo del Urabá • Noroccidente de Antioquia • Medio Magdalena • Sur del Catatumbo • Sur del rio Sogamoso entre Cundinamarca, Boyacá y alto Magdalena • Los límites entre el Huila, Meta y el nororiente de Vichada • Los limites Casanare, Meta y Arauca |
| 5 m/s | | <ul style="list-style-type: none"> • Bajo Magdalena • Cuenca del Cesar entre los departamentos de Bolívar y Atlántico • Norte de Santander • Centro y sur del Cesar |
| 11 m/s | | <ul style="list-style-type: none"> • Litoral central del departamento de Bolívar |
| | Mayo- septiembre | <ul style="list-style-type: none"> • Bajo Magdalena • Centro de los departamento del Cesar y Bolívar • El Catatumbo • Límites entre Boyacá y Cundinamarca |

| | | |
|-------|--------------------|--|
| 6 m/s | | <ul style="list-style-type: none"> • Límites entre Cundinamarca, Meta y Huila • Montañas nariñenses |
| | Junio – agosto | <ul style="list-style-type: none"> • Tolima • Risaralda • Quindío • Suroriente de caldas • Alto Magdalena |
| | Octubre- Noviembre | <ul style="list-style-type: none"> • Guajira |
| 4 m/s | Octubre- Noviembre | <ul style="list-style-type: none"> • Litoral central bolívar • Atlántico • Límites entre Boyacá y Cundinamarca |

Fuente: Libro, Atlas de viento y energía eólica en Colombia, Pág. [19] y [20]

Figura 143 Mapa de la Velocidad Media del Viento en Superficie



Fuente: Libro, Atlas de viento y energía eólica en Colombia [33]

Promedio anual de las velocidades del viento en Colombia, para cada mes hay uno con sus respectivas velocidades.

10.6. Medición del viento.

Cuando trabajamos con el viento, este nunca es constante en un sentido y se hace necesario tener una medida más exacta según la aplicación, la velocidad es un vector el cual tiene dirección y sentido, además de una frecuencia diaria, hay que utilizar distintos instrumentos, como ya vimos los más usados son anemómetros, pero no todos sirven y no todos se ubican del mismo modo en el sitio a medir.

Para tener medidas más exactas es necesario hacer una buena elección de sensores y la instalación de equipos, ya que estas medidas se tienen que hacer por todo un año.

10.6.1. Sensores.

- ✓ Anemómetro de presión dinámica, estos se basan en un tubo de pitot, el cual consta de dos tubos, uno con entrada horizontal la cual mide la presión total, y otro con entrada vertical la cual mide la presión estática.
- ✓ Anemómetro de empuje, está compuesto por una esfera hueca o una pala suspendida, la cual cambia de posición con respecto a su punto cuando hay un flujo de aire incidente sobre la esfera hueca o la pala.
- ✓ Anemómetro de hilo caliente, su medición se basa en la diferencia de temperatura, en la que por el hilo pasa una corriente eléctrica que proporciona una temperatura constante y este al ser sometido a un flujo de aire el cual disipa temperatura.
- ✓ Anemómetros ultrasonido, su funcionamiento se basa en medir la velocidad de propagación del sonido en la cual el medio de propagación es el viento.
- ✓ Anemómetro de cazoletas, es un anemómetro de rotación dotado de unas cazoletas, las cuales generan un movimiento rotativo cuando un flujo de aire

incide directamente en estas, la cual su velocidad está determinada por la velocidad del viento, estos son los más utilizados, por su facilidad de instalación y su exactitud.

10.6.2. Localización y selección de los sensores.

Para una medida más exacta es necesario saber cómo se debe instalar los sensores y a que altura es la adecuada para su correcto funcionamiento.

Para la medición de la velocidad del aire hay diferentes anemómetros, pero no todos se pueden utilizar ya que algunos ya que hay algunos que no pueden funcionar cuando hay lluvia, como el ultrasonido u otros que son más adecuados para medir turbulencias como el de hilo calientes, los más recomendados son los anemómetros de rotación ya que estos se pueden utilizar en cualquier condición climatológica y no necesitan mantenimiento continuo.

Cuando se instala el anemómetro hay que tener en cuenta la calibración ya que estos tienen que ser certificados para que sus datos sean válidos ya que un error nos produciría grandes desviaciones a la hora de calcular o seleccionar los aparatos a operar.

La altura en la que se debe ubicar un anemómetro no puede ser muy baja ya que hay turbulencias generadas por los árboles y el rozamiento con la superficie terrestre, la organización mundial meteorológica OMM, recomienda que la ubicación de cualquier sensor ubicado en tierra deba tener una altura mínima de 10 metros por encima de cualquier interrupción del viento.

10.6.3. Dispositivos de almacenamiento.

Los dispositivos de almacenamiento son utilizados para almacenar los datos medidos por los sensores, estos datos se toman con una frecuencia y cierto tiempo,

estos dispositivos se clasifican en cuatro clases, según su capacidad de almacenamiento y velocidad de procesamiento.

Ya que la información que se va a almacenar son datos de serie de tiempo, se necesitan guardar ya sean en bruto o procesadas, las cuales son la media de la velocidad del viento y estos datos se tiene que almacenar cada 10 minutos, media hora o cada hora o más.

Los dispositivos más utilizados ya sea por su capacidad de memoria, flexibilidad y que son fácil de acceder son memoria RAM, cintas magnéticas, tambores magnéticos, disquetes, m entre otros.

La comunicación se pueden hacer desde cualquier lugar, la interfaz más utilizada para la comunicación es RS232 la cual nos comunicaría el dispositivos de campo con los dispositivos de almacenamiento, aunque existen otros dispositivos como el data logger el cual hace la conexión y la interfaz directamente desde los sensores hasta el PC sin necesidad de un software de control como el SCADA.

10.6.4. Registro e interpretación de datos.

En la toma de datos se debe tener un registro para hacer una interpretación más visible del comportamiento y la variación de la frecuencia del aire, ya que nos ayudaría a optimizar el diseño de los aerogeneradores. Como la toma se hace en intervalos de tiempo muy pequeños, queda difícil registrar todos esos datos, por lo que es necesario hacer una distribución, ya sea por horas, días o meses.

Los métodos más utilizados para hacer un registro de la frecuencia del viento son la función de distribución de Weibull y la función de distribución de Rayleigh.

Ya que el registro de los datos tomados se van a llevar estadísticamente entonces cada reseña que se tenga se va a llevar como una distribución, la cuales tenemos:

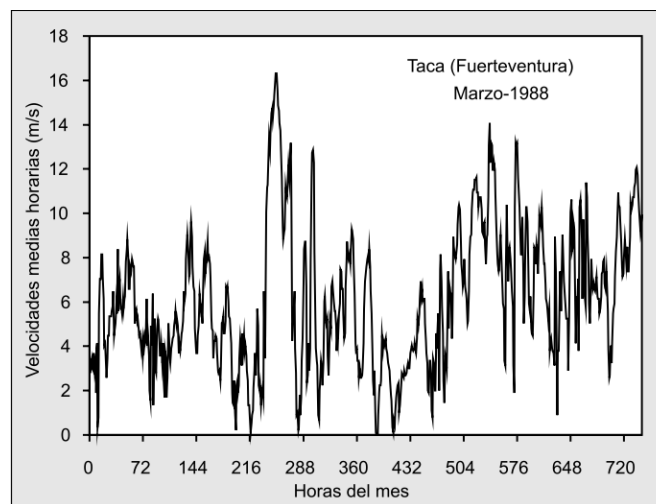
- ✓ Distribución de velocidad
- ✓ Distribución de frecuencia

10.6.4.1. Distribución de velocidad.

En la distribución de velocidad Figura 144. Se analiza el tiempo en el cual los vientos van a ser más fuertes, y así tener un cálculo promedio la disposición energética que se va a tener, esta disposición puede ser, por horas, días o años

Estos datos son los más esenciales a la hora de definir el tipo de generador a utilizar

Figura 144 Distribución Temporal de la Velocidad del Viento en Dias

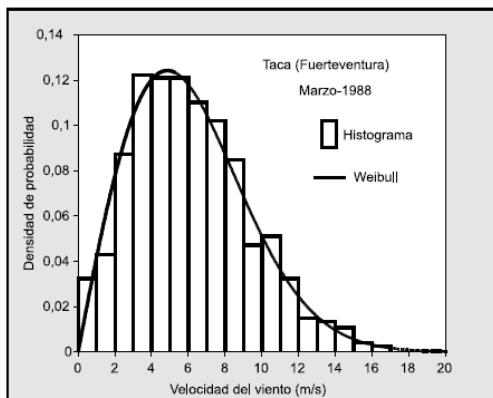


Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [346].

10.6.4.2. Distribuciones de frecuencia.

En la figura 145. Ya conocida la velocidad del viento, es necesario conocer la frecuencia con que esta velocidad llega al generador. Esta distribución nos ayuda a saber en qué dirección el viento es más constante y el tiempo.

Figura 145 Densidad de probabilidad experimental y teórica



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [348].

10.7. Ley exponencial de Hellmann.

La ley de Hellmann describe el comportamiento que tiene el viento a diferentes alturas, esta ecuación es de tipo estadístico.

$$v_h = v_{10} (h/10)^\alpha$$

Valores del exponente de Hellmann, tabla 7.

v_h es la velocidad del viento a una altura h , v_{10} es la velocidad del viento a 10 metros de altura y α es el exponente de Hellmann que cambia según la rugosidad del lugar.

Tabla 7 Valores del Exponente de Hellmann

| | |
|----------------------|----------------------------|
| $\alpha = 0,08/0,12$ | Lugares con hielo o hierva |
| $\alpha = 0,14$ | Mar o costa |
| $\alpha = 0,13/0,16$ | Terrenos poco accidentados |
| $\alpha = 0,2$ | Zonas rusticas |
| $\alpha = 0,2/0,26$ | Bosques |
| $\alpha = 0,25/0,4$ | Ciudades |

Fuente: Libro. Energía Eólica Pedro Fernández Díez.

10.8. Potencial eólico en Colombia.

En Colombia existen pocas zonas donde el viento es adecuado para la generación de energía eléctrica a partir de la energía cinética del viento.

La figura 146. Corresponde a 15 sitios puntuales, según los resultados obtenidos tienen un grado de importancia en el interés energético.

Figura 146 Distribución de Velocidad del Viento en Lugares de Mayor aprovechamiento en Colombia

| ID | LONGITUD | LATITUD | ESTACIÓN | DEPARTAMENTO | PROMEDIO DEL VIENTO |
|----|----------|---------|------------------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 75°16'W | 10°47'N | GALERAZAMBA | BOLÍVAR | 5.9 |
| 2 | 73°33'W | 05°26'N | GACHANECA | BOYACÁ | 5.5 |
| 3 | 81°43'W | 12°35'N | AEROPUERTO SESQUICENTENARIO | ISLA DE SAN ANDRÉS | 5.1 |
| 4 | 74°44'W | 03°20'N | LA LEGIOSA | HUILA | 4.1 |
| 5 | 81°21'W | 13°22'N | AEROPUERTO EL EMBRUJO | ISLA DE PROVIDENCIA | 4.0 |
| 6 | 72°56'W | 11°32'N | AEROPUERTO ALMIRANTE PADILLA | LA GUAJIRA | 4.0 |
| 7 | 73°30'W | 05°32'N | VILLA CARMEN | BOYACÁ | 3.9 |
| 8 | 77°18'W | 01°11'N | OBONUCO | NARIÑO | 3.5 |
| 9 | 72°31'W | 07°56'N | AEROPUERTO CAMILO DAZA | NORTE DE SANTANDER | 3.3 |
| 10 | 76°07'W | 06°20'N | URRAO | ANTIOQUIA | 3.0 |
| 11 | 74°36'W | 10°53'N | AEROPUERTO ERNERTO CORTISSOZ | ATLÁNTICO | 2.9 |
| 12 | 74°14'W | 11°08'N | AEROPUERTO SIMÓN BOLÍVAR | MAGDALENA | 2.9 |
| 13 | 73°11'W | 07°08'N | AEROPUERTO PALONEGRO | SANTANDER | 2.8 |
| 14 | 75°08'W | 03°35'N | ANCHIQUE | TOLIMA | 2.7 |
| 15 | 73°14'W | 08°05'N | ÁBREGO CENTRO ADMINISTRATIVO | NORTE DE SANTANDER | 2.5 |

Fuente: Libro, Atlas de viento y energía eólica en Colombia [64].

10.9. Aprovechamiento de la energía eólica.

Las grandes civilizaciones han aprovechado la energía eólica desde tiempos remotos para diferentes actividades como en el transporte y la agricultura, a medida que su uso se fue generalizando también fue evolucionando la manera de hacerla más eficiente y más útil.

El molino de viento figura 147. Fue una manera de aprovechar esta energía, la primera reseña que se conoció fue el molino persa de eje vertical el cual era utilizado para la molienda de granos y el riego de las llanuras, este constaba de un eje vertical con varias palas, estas palas eran de madera o caño el cual era el material más liviano conocido en esa época, estas palas hacían girar el eje el cual estaba comunicado con las muelas que se encargaban de moler el grano.

Estos molinos fueron usados en el oriente, hasta que el siglo XV, aparece en Europa los molinos de eje horizontal los cuales tenían el mismo funcionamiento, un eje pero vertical y con varias palas que hacían girar el eje, pero sus aplicaciones se diversificaron ya que no solo fue usado para moler grano si no para el transporte de agua, para extraer aceite de semillas y otras actividades, este se utilizó tanto en el renacimiento como en la revolución industrial, estos fueron evolucionando y su uso fue restringiendo ya con la aparición de los combustibles derivados del petróleo y las máquinas que funcionaban con este.

Ya a mediados del siglo XX cuando apareció la teoría aerodinámica, y generó una transformación en las máquinas eólicas, las cuales fueron utilizadas para la generación de energía eléctrica, en Dinamarca país pionero en la actualidad de parques eólicos fue donde apareció el primer diseño de un aerogenerador figura 148. El cual se llevó a cabo por el profesor Lacour.

En la actualidad es tan grande la evolución de estas máquinas que se han diseñado en distintos materiales los cuales son más ligeros y resistentes y sistemas de control electrónicos, y se calcula que hay más de cuarenta mil de estas turbinas en funcionamiento.

Figura 147 Molino de la revolución industrial



Figura 148 Aerogenerador a mediados del siglo XX



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [358].

10.10. Aerogeneradores.

El principal funcionamiento es captar la energía cinética del viento y convertirla en energía eléctrica por medio de algunos componentes, los cuales no cambian mucho de un fabricante a otro.

10.10.1. Componentes de un Aerogenerador.

Los componentes de un aerogenerador se clasifican en subsistemas para un mejor estudio y aprovechamiento de estos.

10.10.2. Subsistema de Captación.

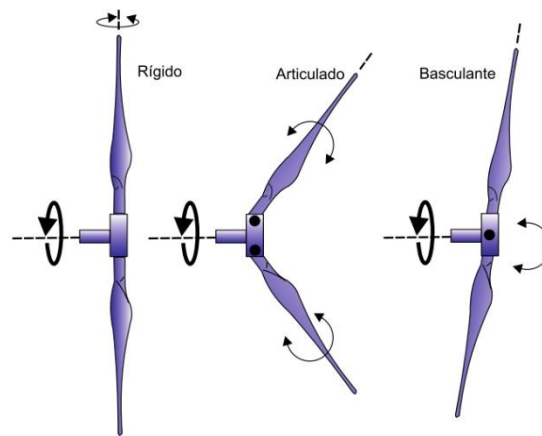
Este subsistema está conformado por el rotor, el cual se encarga de convertir la energía cinética del viento en energía mecánica. El rotor está conformado por las palas y el buje.

10.10.3. Buje.

El buje eólico es el encargado de conectar las palas al árbol principal el cual después se conecta con el árbol secundario del sistema mecánico.

Existen varios tipos de bujes figura 149, según el tipo de eje que tenga, para eje horizontal existen los bujes rígidos, bujes para palas articuladas y bujes balanceantes.

Figura 149 Tipos de bujes



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [364].

10.10.4. Bujes rígidos.

Los bujes rígidos son los más comunes y se utilizan cuando hay tres o más palas, el material en que se fabrica es hierro o acero fundido.

10.10.5. Bujes para palas articuladas.

Estos bujes no son muy utilizados, debido a que su diseño no es convencional y es aplicable en pocas turbinas. Su dado le permite un libre movimiento con respecto al eje horizontal.

10.10.6. Bujes balanceantes.

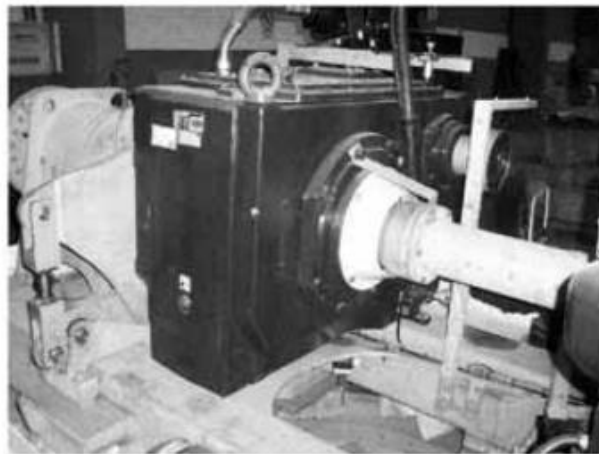
Este buje le permite a las palas tener un movimiento relativo con respecto al eje del rotor, son usados con rotores de dos palas.

10.10.7. Subsistema de transmisión.

El subsistema cuenta con una transmisión mecánica la cual cuenta con árbol de velocidades (baja y alta), caja de engranajes figura 150, frenos figura 151 y acoplamientos.

La caja tiene como función multiplicar las velocidades que transmite el eje del rotor a los componentes eléctricos, esta conexión de la caja al eje se hace con acoples, los cuales nos facilita el trabajo de conectar y desconectar piezas en un sistema.

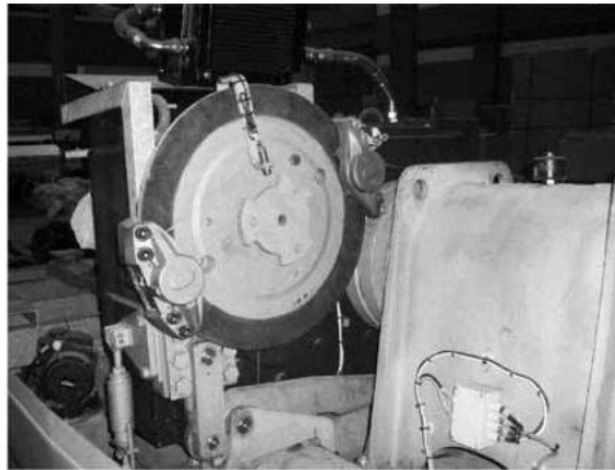
Figura 150 Caja de engranaje



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [373].

En los aerogeneradores se suele utilizar dos tipos de cajas multiplicadoras, las cajas de engranajes planetarios y las cajas de engranajes paralelos, además de las cajas los aerogeneradores utilizan frenos mecánicos, los cuales son capaces de frenar por completo el rotor de la turbina por si algún caso en especial

Figura 151 Freno de disco



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [374].

10.10.8. Subsistema eléctrico.

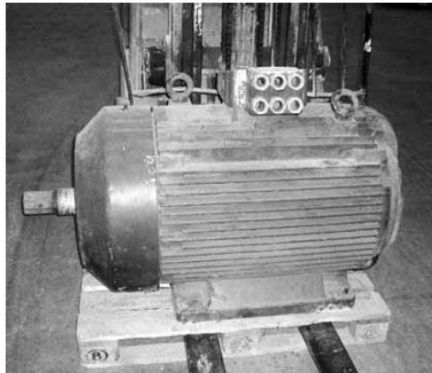
El principal componente del subsistema eléctrico es el generador, los cuales suelen ser de inducción (asíncronos) o excitación (síncronos).

10.11. Generador asíncrono.

El generador asíncrono más utilizado es el de jaula de ardilla, este generador produce energía en el estator cuando la velocidad de giro del estator es mayor que la velocidad de giro del campo magnético creado por el estator.

Los generadores de jaula de ardilla. Figura 152. Al ser muy simples no requieren grandes costos de mantenimiento.

Figura 152 Generador de jaula de ardilla



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [375].

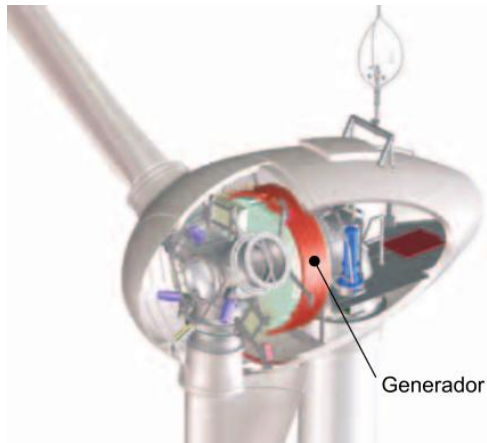
Debido a la relación que existe entre rendimiento y carga, algunos fabricantes de aerogeneradores han optado por utilizar dos generados, uno cuando la velocidad del viento es baja y otro cuando es alta.

10.12. Generador síncrono.

Los generadores síncronos funcionan con un campo magnético creado por imanes situados en el rotor, este campo magnético convierte la energía mecánica del rotor en energía eléctrica.

Ya que estos generadores giran a una velocidad de sincronismo, si para una frecuencia dada aumentemos el número de polos disminuimos la velocidad de sincronismo y por lo tanto no se necesitaría las cajas mecánicas. Un aerogenerador se puede ver en la figura 153.

Figura 153 Aerogenerador E-33



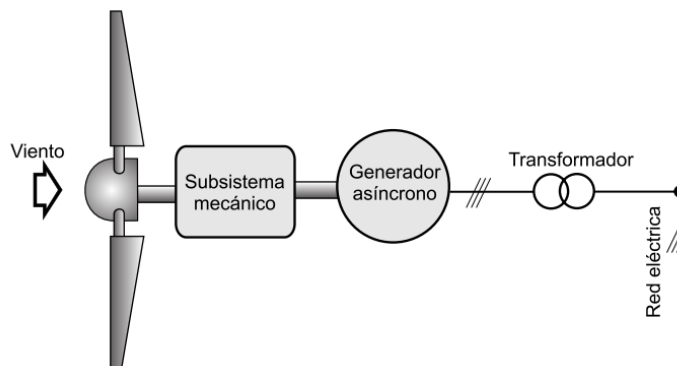
Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [376].

10.13. Generadores acoplados directamente a la red.

En la actualidad la mayoría de generadores están conectados directamente a la red, por costos se prefiere hacer esto, pero por funcionamiento no es recomendable debido a las fuertes cargas dinámicas.

- ✓ Generadores asíncronos figura 154, con rotores tripalpas de paso fijo, operan a velocidad constante.

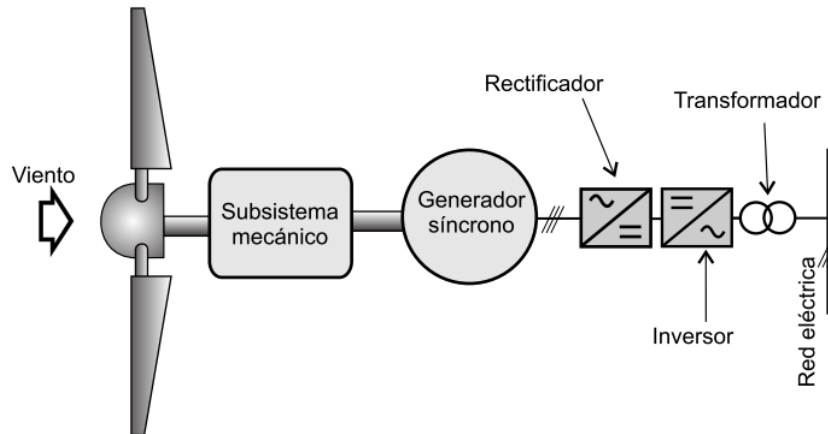
Figura 154 Generador asíncrono conecta a la red



Fuente: Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [377].

- ✓ Generadores síncronos figura 155, con velocidad variable y conectada a convertidores de AC/DC/AC.

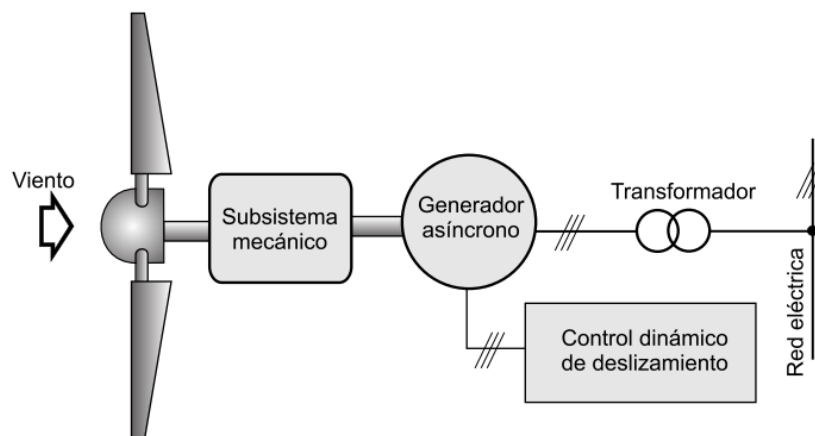
Figura 155 Generador síncrono conectado a la red con convertidor



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [377].

- ✓ Generadores asíncronos con velocidad variable figura 156, esto se logra con un control de deslizamiento con resistores en el rotor del generador.

Figura 156 Generador asíncrono con control de deslizamiento conectado a la red



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [377].

10.14. Subsistema de orientación.

Los aerogeneradores funcionan cuando el rotor esta perpendicularmente al viento, ya que el viento no es constante en una dirección es necesario **orientar** el rotor en otra dirección donde se pueda aprovechar toda la energía.

Para esta orientación se han creado dos clases de sistemas en los que tenemos:

- ✓ Orientación activa
- ✓ Orientación pasiva

10.14.1. Orientación activa.

En este sistema la orientación se hace con información obtenida a partir de dirección de viento y posición del aerogenerador, esta información es transmitida a un actuador hidráulico o eléctrico.

Un moto-reductor figura 157. Son utilizados en la actualidad como un actuador, el cual está sujetado en el bastidor y a la torre por medio de unos aros lo que le permite girar sobre la torre, además cuenta con un freno que inmoviliza el giro.

Figura 157 Moto-reductor del sistema de orientación



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [379].

10.14.2. Orientación pasiva.

Estos sistemas funcionan aprovechando la fuerza aerodinámica, algunas utilizan veletas figura 158, rotores laterales figura 159, que cuando cambia la dirección del viento estos empiezan a funcionar y van moviendo el bastidor hasta que se encuentre perpendicularmente el aerogenerador con el viento.

Figura 158 Sistema orientado por veleta



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [380].

Figura 159 Sistema orientado por rotores auxiliares



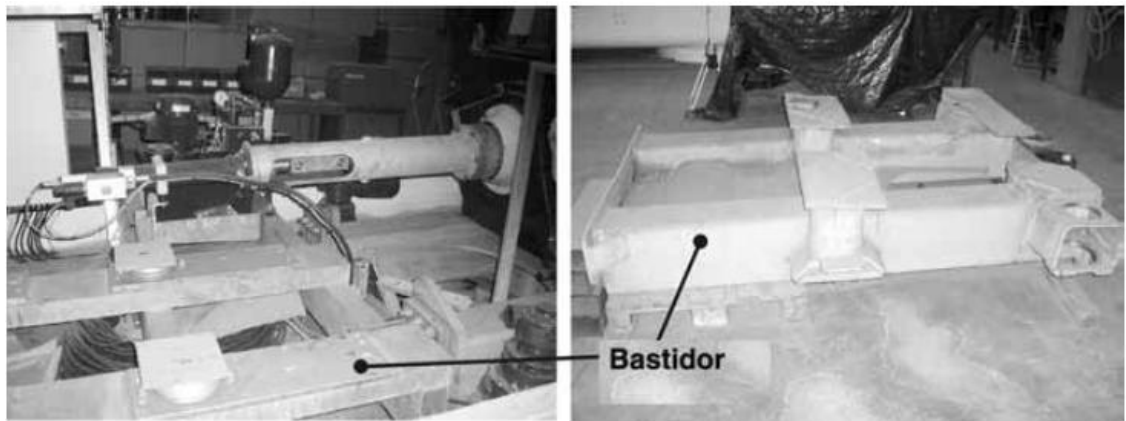
Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [380].

10.15. Subsistema de soporte.

Este subsistema es el encargado de acoplar todos los otros subsistemas en un solo sistema y está constituido por la torre y la góndola.

- ✓ La góndola esta constituidas por la carcasa y el bastidor.
- ✓ El bastidor figura 160. Es la estructura encargada de sostener a los otros subsistemas que van a funcionar, está esta acoplada a la torre por medio de un rodamiento.

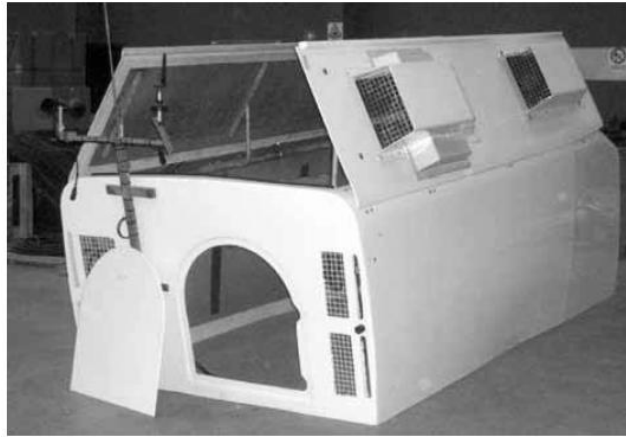
Figura 160 Bastidor de la torre de aerogenerador



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [385].

La carcasa figura 161. Es la encargada de proteger a estos subsistemas del ambiente, esta es fabricada en fibra de vidrio o poliéster y tiene entradas que facilitan el mantenimiento.

Figura 161 Carcasa del aerogenerador



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [385].

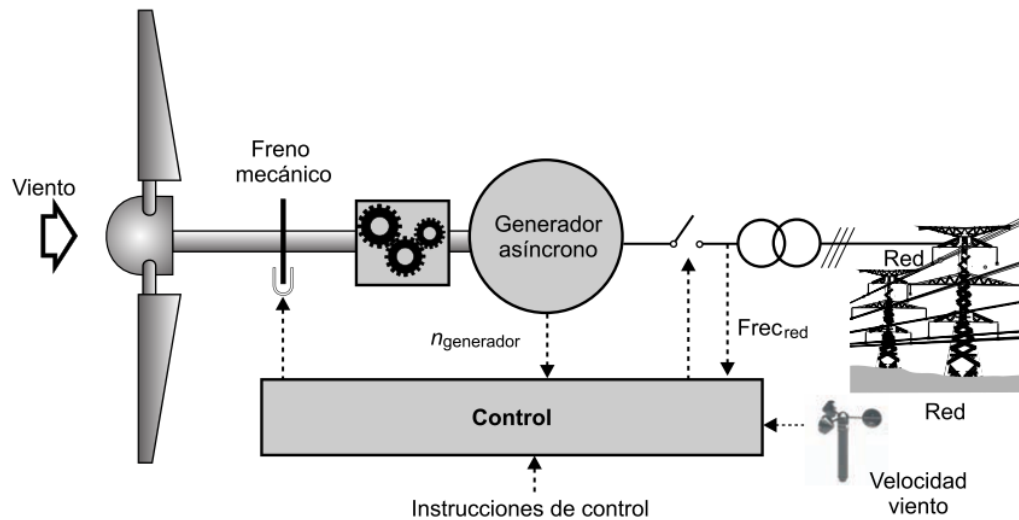
La torre es la encargada de elevar y sostener el aerogenerador el tiempo que esté en funcionamiento, lo cual se diseña para una larga vida, su diseño depende de del diámetro del rotor, el coste y la instalación.

Las primeras torres se fabricaron en estructura metálica en forma de celosía, pero con el tiempo se fueron cambiando a forma cilíndrica en acero. Esta se fabrica de tal forma que sea fácil su transporte y armado en el lugar que se va a instalar.

10.16. Control de los aerogeneradores.

La principal tarea que se realiza en el control es hacer funcionar sincrónicamente todos los subsistemas figura 162, esto se logra con un correcto sistema de medición los cuales van a tomar los datos necesarios para que se logre un óptimo funcionamiento de todos los componentes del generador.

Figura 162 Control de un aerogenerador asíncrono de paso fijo



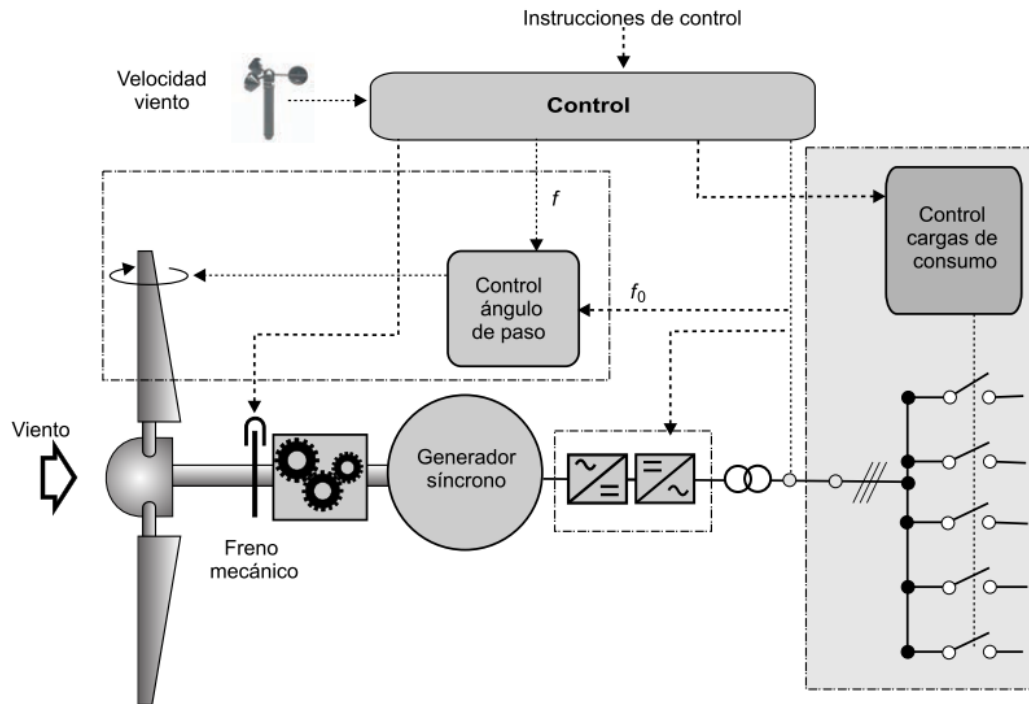
Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [383].

10.16.1. Control de velocidad de giro en sistemas aislados.

El control de velocidad se realiza en el ángulo de paso de las palas, esto se logra si la potencia generada por el viento es mayor que la potencia consumida por la red. Figura 163.

Cuando la potencia de consumo es pequeña, se puede orientar las palas para que la velocidad disminuya y no haya sobrecargas en la red.

Figura 163 Control de velocidad de giro en sistemas aislados



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [383].

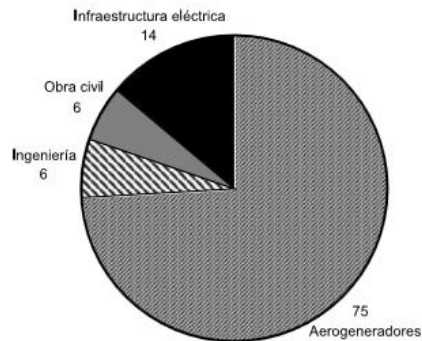
10.17. Costo del uso de la energía eólica.

El costo de cada KWh obtenido depende del costo de instalación a lo largo de la vida y de la energía producida.

El costo de instalación depende del aerogenerador, de los sistemas de los sistemas eléctricos y civiles, este costo a medida que se van optimizando los aerogeneradores se va reduciendo.

En la figura 164, se muestran los costos del uso de la energía eólica.

Figura 164 Costo de Instalación



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [388].

En el costo de instalación el aerogenerador es el que más costo tiene el cual es de un 75% del total seguido por el sistema eléctrico con un 14% y el de menor costo es la parte civil.

10.18. Impacto ambiental del uso de la energía eólica.

El impacto ambiental que puede tener el uso de la energía eólica con respecto al impacto ambiental que se puede tener si usamos otra fuente.

El mayor impacto ambiental que se puede tener es el ruido que se produce en los aerogeneradores figura 165, la erosión debido al gran movimiento de tierra que produce y el impacto visual debido a la gran cantidad de generadores que tienen que utilizarse.

10.19. Futuro de la energía eólica en Colombia y el Mundo.

En Colombia el principal proyecto que se desarrollado es del parque eólico Jepirachi figura 166, el cual nació como un proyecto de investigación a futuro en la generación de energía a gran escala.

Este parque está ubicado en inmediaciones de Puerto Bolívar y el Cabo de la Vela, cuenta con 15 aerogeneradores marca Nordex N60 con una capacidad de 1300 KW, con una capacidad instalada de 19.5 MW.

Los aerogeneradores están conformados por un rotor de 60 metros de diámetro, una torre de 60 metros de altura, los 15 aerogeneradores están repartidos en dos filas de 8 y 7 separados 180 metros aproximados cada uno.

Figura 166 Parque eólico de Jepirachi



Fuente: Libro, Jepirachi, EPM. [37]

Segun los datos de la Asociaon Mundial de Energia Eolica, la energia eolica cubre un 2 por ciento de la energia mundial consumida con 215 gigavatios, la cual tiene un gran crecimiento con un 20 por ciento anual.

Para el 2030 se espera que la energia eolica cubra de un 20 a 30 por ciento de la energia mundial lo cual generaria un gran crecimiento en el numero de parque eolicos en el mundo.

10.20. Futuro de la energía eólica.

Segun los datos de la Asociaon Mundial de Energia Eolica, la energia eolica cubre un 2 por ciento de la energia mundial consumida con 215 gigavatios, la cual tiene un gran crecimiento con un 20 por ciento anual.

Para el 2030 se espera que la energia eolica cubra de un 20 a 30 por ciento de la energia mundial lo cual generaria un gran crecimiento en el numero de parque eolicos en el mundo.

10.21. Parques eólicos.

Los parque eólicos surgen como una solución al problema energético que se tiene en el mundo, pero estos parques necesitan grande estructuras civiles, estructuras eléctricas y un gran control para su correcto funcionamiento. Figura 167 y la figura 168 podemos ver el potencial eólico y el crecimiento que ha tenido en los últimos años.

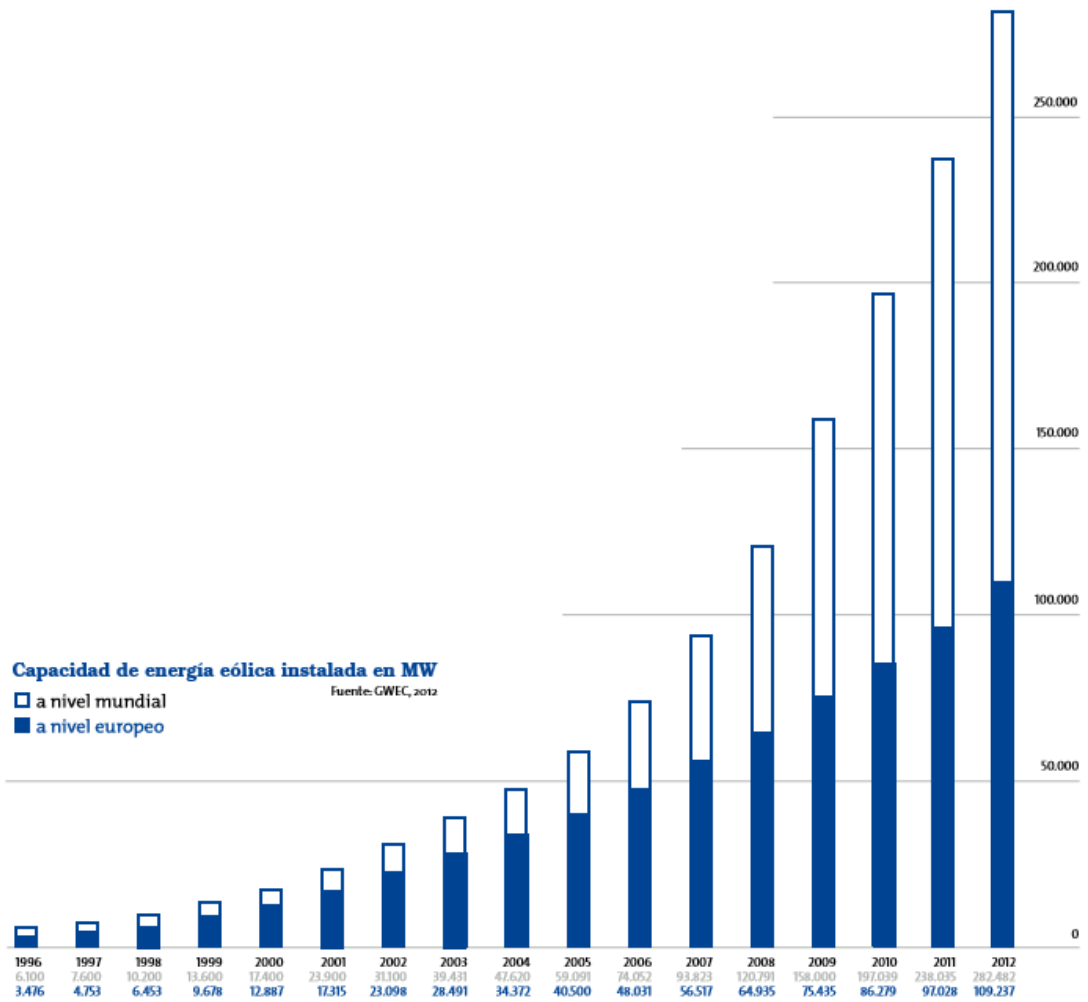
En estos días existen grandes parque eólicos en el mar ya que la intensidad del viento es mayor en algunos lugares a mar abierto que en tierra.

Figura 167 Potencial de parques offshore instalados

| País | Ubicación | Año | Marca | MW | N.º | MW |
|-----------|-----------------|------|-----------------------|-------------|---------|-------|
| Dinamarca | Vindeby | 1991 | Bonus | 0,45 | 11 | 4,95 |
| Holanda | Lely | 1994 | NedWind | 0,50 | 4 | 2,00 |
| Dinamarca | Tunø Knob | 1995 | Vestas | 0,50 | 10 | 5,00 |
| Holanda | Dronten | 1996 | Nordtank | 0,60 | 28 | 16,8 |
| Suecia | Bockstigen | 1998 | Wind World | 0,55 | 5 | 2,75 |
| R. Unido | Blyth | 2000 | Vestas | 2,00 | 2 | 4,00 |
| Dinamarca | Middelgrunden | 2000 | Bonus | 2,00 | 20 | 40,0 |
| Suecia | Uttgrunden | 2000 | GE Wind | 1,50 | 7 | 10,5 |
| Suecia | Yttre Stengrund | 2001 | NEG Micon | 2,00 | 5 | 10,0 |
| Dinamarca | Horns Rev | 2002 | Vestas | 2,00 | 80 | 160 |
| Dinamarca | Frederikshaven | 2003 | Vestas, Bonus, Nordex | 3; 2,3; 2,3 | 2; 1; 1 | 10,6 |
| Dinamarca | Samsø | 2003 | Bonus | 2,30 | 10 | 23,0 |
| R. Unido | North Hoyle | 2003 | Vestas | 2,00 | 30 | 60,0 |
| Dinamarca | Nysted | 2003 | Bonus | 2,30 | 72 | 165,6 |
| Irlanda | Arklow Bank | 2003 | GE Wind | 3,60 | 7 | 25,2 |
| Japón | Hokkaido | 2004 | Vestas | 0,6 | 2 | 1,2 |
| R. Unido | Scroby Sands | 2004 | Vestas | 2,00 | 30 | 60,0 |
| R. Unido | Kentish_Flats | 2005 | Vestas | 3,00 | 30 | 90 |
| Holanda | Egmond | 2006 | Vestas | 3,00 | 36 | 108 |
| R. Unido | Barrow | 2006 | Vestas | 3,00 | 30 | 90 |
| R. Unido | Burbo | 2007 | Siemens | 3,6 | 25 | 90 |
| R. Unido | Moray Firth | 2007 | Repower | 5 | 2 | 10 |
| Suecia | Lillgrund | 2007 | Siemens | 2,3 | 48 | 110 |
| Holanda | Ijmuiden | 2008 | Vestas | 2,00 | 60 | 120 |

Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [383].

Figura 168 Energía eólica instalada



Fuente: Catalogo. Energía eólica con wpd [7].

10.21. Conclusiones.

- ✓ La energía eólica es la energía cinética del viento, esta es transformada a energía mecánica mediante una turbina, y esta a su vez es transformada a energía eléctrica mediante un generador.
- ✓ El viento es producido por la incidencia de los rayos solares que calientan el aire y por la rotación natural de la Tierra sobre su eje. Los rayos solares calientan el aire, haciendo que su densidad varíe, esto provoca que el aire que está más caliente ascienda y el que está a menor densidad descienda, formando un flujo de aire desde las presiones altas hacia las presiones bajas. El viento también tiene la particularidad de que en la zona del hemisferio norte aparenta tener un desvío hacia la derecha, y en la zona del hemisferio sur un desvío hacia la izquierda, pero esto es debido a la fuerza de Coriolis.
- ✓ Los aerogeneradores son los principales elementos en la generación de energía eléctrica a partir de la energía eólica. Este tiene diferentes componentes como lo son: el subsistema de captación, donde se encuentra el rotor con sus pala o hélices; el subsistema de transmisión compuesto principalmente por la caja de velocidades; el subsistema eléctrico compuesto por el generador; el subsistema de orientación, el cual regula la correcta orientación para el óptimo aprovechamiento de la energía eólica, y por último el subsistema de soporte constituido por la carcasa y el bastidor.
- ✓ El principal costo en la generación de energía eléctrica a partir de la energía eólica es el aerogenerador con un 75%, seguido por el sistema eléctrico con un 14%, y siendo el menor costo el de las obras civiles. El costo de cada KWh obtenido depende del costo de instalación a lo largo de la vida y de la energía producida.
- ✓ La energía eólica al igual que cualquier otra energía tiene sus consecuencias sobre el medio ambiente. El principal impacto ambiental es el ruido que se produce en el rotor; este ruido es de gran magnitud y alcanza

aproximadamente un radio de 400m, por lo que se considera un gran impacto negativo para la vida del ser humano. El otro impacto importante es sobre la fauna, ya que muchas aves mueren a causa de estas grandes turbinas.

- ✓ En Colombia el principal proyecto de energía eólica es el parque Jepirachi, ubicado en la Guajira, entre el Puerto de Bolívar y el Cabo de la Vela, y fue desarrollado como un proyecto de investigación por parte de la empresa EPM. Este parque cuenta con 15 aerogeneradores marca Nordex N60 de 1300Kw cada, para un total de una capacidad instalada de 19.5 MW.
- ✓ Alrededor del mundo el interés por la energía eólica crece cada vez más, muchas potencias mundiales están invirtiendo en grandes proyectos de energía eólica, principalmente proyectos en el mar o también llamados Offshore, ya que allí en el mar se encuentran grandes velocidades de viento, lo cual garantiza una gran producción de energía. Los países europeos como Alemania, el Reino Unido, Dinamarca, Holanda, Suecia, entre otros, tienen grandes parques eólicos y están generando gran parte de su consumo energético a través de la energía eólica.

11. ENERGÍA HIDRÁULICA

11.1. Introducción.

La energía hidráulica se basa en aprovechar la caída del agua desde cierta altura. La energía potencial, durante la caída, se convierte en cinética. El agua pasa a través de las turbinas a una alta velocidad, provocando un movimiento de rotación que hace mover un generador para finalmente obtener energía eléctrica. El agua es un recurso natural disponible en las zonas que presentan suficiente cantidad de agua, y una vez utilizada, es devuelta río abajo. Su desarrollo requiere construir pantanos, presas, canales de derivación y con las tecnologías modernas de grandes turbinas y equipamiento para generar electricidad. Todo ello implica la inversión de grandes sumas de dinero, por lo que no resulta competitiva en regiones donde el carbón o el petróleo son baratos. Sin embargo, el peso de las consideraciones medioambientales y el bajo mantenimiento que precisan una vez estén en funcionamiento centran la atención en esta fuente de energía.

11.2. Objetivos.

11.2.1. Objetivo general

Conocer el desarrollo que ha tenido la energía hidráulica como parte del panorama energético actual del planeta y en Colombia, sus principales características y las posibilidades de gestión en el entorno que nos rodea.

11.2.1.1. Objetivos específicos

- ✓ Definir, describir y analizar los aspectos que caracterizan la energía hidráulica.
- ✓ Conocer los sistemas utilizados para el aprovechamiento del recurso hídrico para la generación de energía eléctrica.
- ✓ Conocer las herramientas y tecnologías disponibles actualmente en el mercado para llevar a la práctica proyectos de desarrollo en el área de la energía hidráulica.
- ✓ Diferenciar los aspectos más importantes relacionados con los proyectos hidráulicos.
- ✓ Analizar los diferentes métodos de evaluación económica de la energía hidráulica.
- ✓ Identificar las zonas de Colombia que cuentan con un potencial para el aprovechamiento de este tipo de energía.
- ✓ Identificar las ventajas y desventajas del uso de la energía hidráulica.

11.3. Historia de la energía hidráulica.

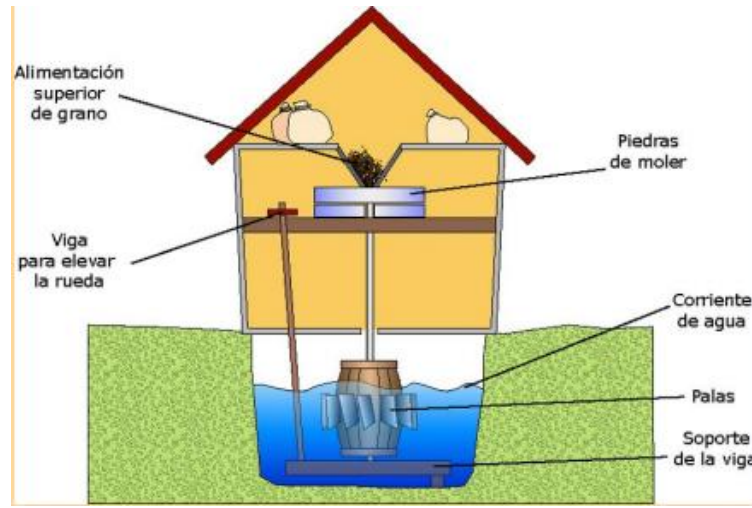
La fuerza del agua ha sido utilizada durante mucho tiempo inicialmente se le dio la aplicación para ayudar a mover el molino de moler trigo, pero fue hasta la Revolución Industrial, y en particular a partir del siglo XIX, cuando comenzó a tener una gran importancia con el origen y aparición de las ruedas hidráulicas para la producción de energía eléctrica. Poco a poco la demanda de electricidad fue en aumento. Debido al bajo caudal de agua durante el verano y el otoño, unido a los hielos del invierno, fue necesario la construcción de presas de, por tanto las ruedas hidráulicas fueron reemplazadas por máquinas de vapor tan pronto como se dispuso del carbón.

La primera central hidroeléctrica moderna fue construida Northumberland, Gran Bretaña en 1880 en. Con este gran avance se dio el renacimiento de la energía hidráulica lo cual fue producto del generador eléctrico, seguido del perfeccionamiento de la turbina hidráulica y debido al aumento de la demanda de electricidad a principios del siglo XX. En 1920 las centrales hidroeléctricas generaban una parte importante de la producción total de electricidad.

La energía hidráulica desde sus inicios ha sido una de fuentes de energía utilizadas para minimizar la carga de trabajo del hombre y de los animales. No se conoce con exactitud cuándo se inventó la rueda de hidráulica, pero lo que sí sabemos es que los sistemas de irrigación existen desde hace al menos 5.000 años y parece probable que el primer aparato que utilizó la potencia hidráulica fue la noria, utilizada para elevar agua desde un río a un tanque o a un sistema de canales.

Los primeros molinos de agua fueron probablemente molinos de eje vertical destinado a la molienda de grano, conocido como molinos nórdicos o molinos griegos puede verse en la figura 169. De los que se estima su aparición en el primer o segundo siglo antes de Cristo en el Medio Este y siglos después en Escandinavia.

Figura 169 Molino de agua nórdico o griego

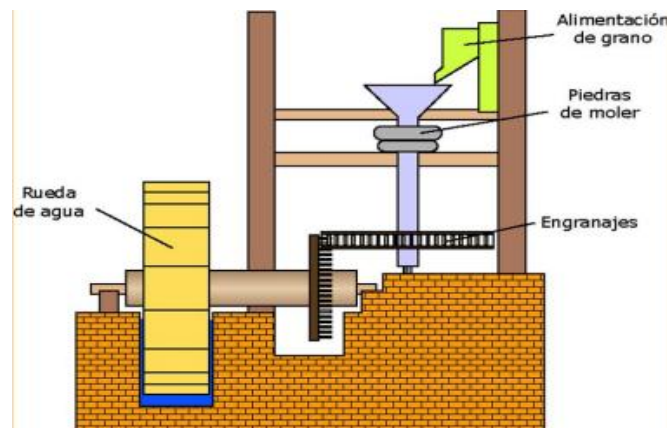


Fuente: Disponible en internet:

<<http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo17.pdf>>

Unos años más tarde en Roma, se utilizaron molinos de eje horizontal más sofisticados, los cuales se destinaban a la molienda de grano pero con la particularidad de engranajes que permitían cambiar la dirección del movimiento (Figura 170).

Figura 170 Molino romano



Fuente: Disponible en internet:

<<http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo17.pdf>>

A finales del siglo XVIII existían tres tipos de ruedas. La rueda horizontal de empuje inferior, las cuales tenían la característica que sus paletas inferiores se encontraban sumergidas en la corriente de agua que las empujaba; la rueda horizontal de empuje superior, la cual giraba gracias a que el agua caía sobre las palas desde arriba; y la rueda horizontal de empuje central, que era un compromiso entre las dos anteriores.

Más tarde en edad media cuando comenzaron a desarrollarse las maquinarias hidráulicas, en un principio éstas no eran de materiales fuertes ya que solo eran de madera, la cual se gastaba mucho con la corrosión que le provocaba el agua, así que conforme pasaron los años, los materiales fueron reemplazándose por otros más fuertes y más resistentes, tales como el hierro.

Una de las partes más importantes de la historia de la energía hidráulica ocurre durante la Revolución Industrial, donde la energía hidráulica fue de gran importancia para el desarrollo económico y social. Se crearon empresas textiles y de construcción de distintos tipos de maquinarias, brindando así gran trabajo para la población.

Aunque durante los primeros años las máquinas funcionaban a vapor y muy bien, en esos momentos el carbón escaseaba y por lo tanto se complicaba, hasta que en el continente americano y Europa las ciudades industriales continuaron creciendo y desarrollándose cada vez más, por ello se construyeron canales que brindaban del carbón a bajos costos. Uno de los mayores problemas que se presentaban en el momento de la construcción de presas de contención era el bajo caudal de agua durante épocas del año, por ello, se tuvo la necesidad de reemplazar las ruedas hidráulicas por maquinaria a vapor cuando la disposición de carbón era posible.

11.4. Desarrollo de la energía hidroeléctrica.

Algo que marco la historia de la energía hidráulica fue la primera central hidroeléctrica la cual se construyó en 1880 en Northumberland, Gran Bretaña. El renacimiento de la energía hidráulica se produjo por el desarrollo del generador eléctrico, seguido del perfeccionamiento de la turbina hidráulica y debido al aumento de la demanda de electricidad a principios del siglo XX. En 1920 las centrales hidroeléctricas ya generaban una parte importante de la producción total de electricidad.

La tecnología instalada en las principales centrales se mantuvo prácticamente igual durante el siglo XX. Las centrales dependen de un embalse grande de agua contenido por una presa. El caudal de agua se controla y se puede mantener casi constante. El agua se transporta por unas tuberías forzadas o por conductos, controlados con válvulas y turbinas para así adecuar el flujo de agua con respecto a la demanda de electricidad. El agua que ingresa en la turbina sale por los canales de descarga. Los generadores están situados justo encima de las turbinas y conectados con árboles verticales. El diseño de las turbinas depende del caudal de agua; las turbinas Pelton para grandes saltos y pequeños caudales y las turbinas Francis se utilizan para caudales grandes y saltos medios y bajos.

También cabe resaltar que además de las centrales situadas en presas de contención, que dependen del embalse de grandes cantidades de agua, existen algunas centrales que se basan en la caída natural del agua, cuando el caudal es uniforme. Estas instalaciones se llaman de agua fluente. Un ejemplo de ellas es la de las Cataratas del Niágara, situada en la frontera entre Estados Unidos y Canadá.

A comienzos de la década de los noventa, las primeras potencias productoras de hidroelectricidad eran Estados Unidos y Canadá. Canadá obtiene un 60% de su electricidad de centrales hidráulicas. En algunos países se han instalado centrales pequeñas, con capacidad para generar entre un kilovatio y un megavatio. En muchas regiones de China, por ejemplo, estas pequeñas presas son la principal

fuente de electricidad. Otras naciones en vías de desarrollo están utilizando este sistema con muy buenos resultados.

11.5. Centrales hidroeléctricas.

Para la transformación de la energía cinética y potencial del agua en energía mecánica de rotación se utilizan dispositivos denominados **turbinas hidráulicas**, las cuales, acopladas al eje de un generador eléctrico, le imprimen el movimiento de giro necesario para que éste produzca energía eléctrica.

La tipología de las centrales mini hidroeléctricas es muy variada. Estas dependen de:

- ✓ La altura del salto. Se tiene una clasificación para estas alturas: gran salto (más de 150 m), mediano salto (entre 20 m y 150 m) y bajo salto (entre 2 m y 20 m).
- ✓ El tipo de tecnología.
- ✓ La localización y tipo de presa, embalse, etc.

Según el tipo de central, las instalaciones hidráulicas pueden clasificarse fundamentalmente en:

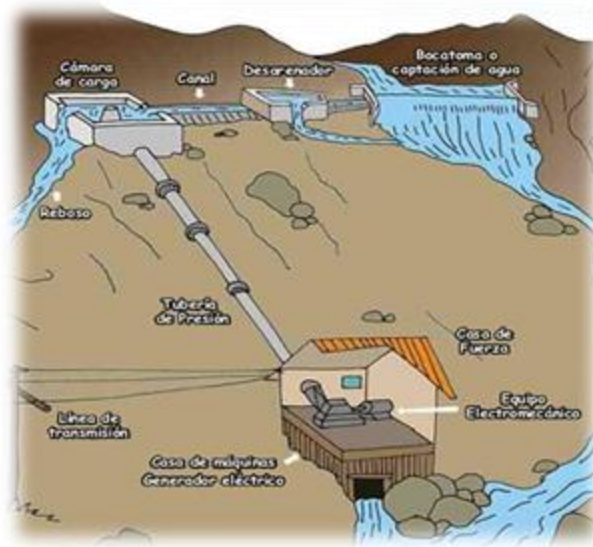
- ✓ Centrales de agua fluyente.
- ✓ Centrales de embalse.
- ✓ Centrales de bombeo
- ✓ Centrales en canales de riego.
- ✓ Centrales en tuberías de abastecimiento de agua potable.

11.5.1. Centrales de agua fluyente.

Las centrales de agua fluyente (Figura 171). Toman una parte del caudal proveniente del río y lo dirigen a la turbina para convertir la energía cinética y potencial del agua en energía mecánica, la cual es aprovechada por un generador para la producción de la energía eléctrica.

Hay varias configuraciones posibles, las cuales dependen de la topografía del emplazamiento. Una posible solución, cuando el salto es medio o alto, consiste en utilizar un **azud** para remansar el agua y luego desviar una parte del caudal del río por un canal de derivación o por una tubería de baja presión hasta la llamada cámara de carga, la cual está conectada a la tubería forzada que conduce el agua con la mayor pendiente posible hacia el edificio de la central, donde se encuentran ubicadas las turbinas, los generadores eléctricos y demás aparatos de regulación y control, figura 133. El agua, una vez cede su energía a la turbina, se evacúa por un canal de descarga devolviéndola de nuevo al cauce del río.

Figura 171 Central de agua fluyente



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.aulatecnologia.com/>>

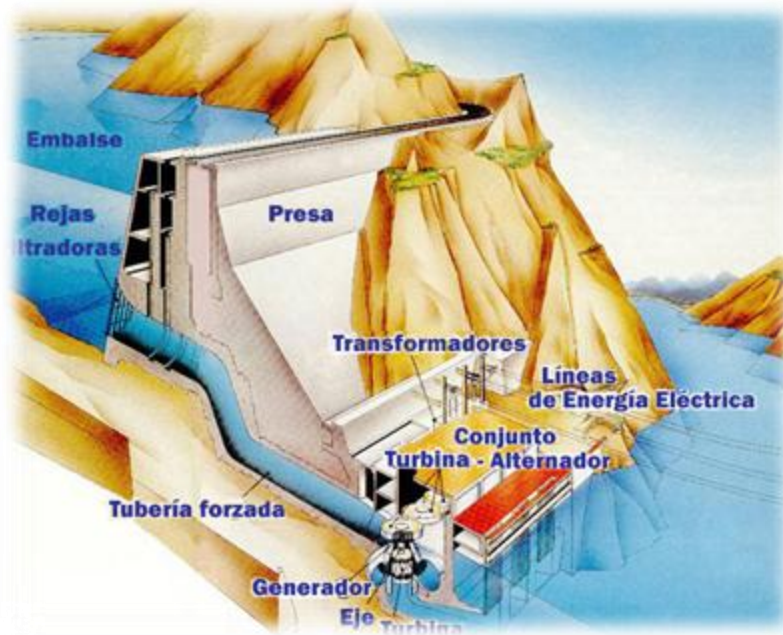
Ya que este tipo de centrales no cuentan como tal con un embalse regulador de cierta capacidad, por tanto, la generación de electricidad está limitada al caudal que este en cada momento circulando por el cauce del río. Si este caudal es inferior a un cierto valor denominado caudal mínimo técnico la central deja de producir energía.

11.5.2. Centrales de embalse.

Las centrales con embalse, también conocidas como centrales de pie de presa o centrales de regulación son aprovechamientos hidroeléctricos que tienen la posibilidad de almacenar el agua de un río. El almacenamiento del agua se lleva gracias a la construcción de un depósito o utilizando embalses construidos para otros usos, como riego o abastecimiento para las poblaciones. Estas centrales tienen la particularidad que pueden regular el caudal de agua que se envía hacia las turbinas con el propósito de acondicionar la energía eléctrica producida a la demanda.

La toma de agua en estas centrales suelen estar situada en la propia presa figura 172 y a una determinada altura, por lo que se crean dos zonas de agua en el embalse; zona muerta o volumen de agua situado debajo de la toma y zona útil o volumen de agua sobre la toma. En función del volumen de agua almacenado en la zona útil del embalse, la regulación de la energía generada puede ser horaria, diaria o semanal.

Figura 172 Central de embalse



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.ecovive.com/wp-content/uploads/2010/02/central-hidroelectrica-de-embalse1.jpg>>

11.5.3. Centrales de hidrobombeo.

En este tipo de central hidroeléctrica se cuenta con dos embalses. El agua contenida en el embalse inferior, es bombeada durante las horas de menor demanda eléctrica al depósito situado en la parte superior, con el fin de turbinarla, posteriormente, para generar electricidad en las horas de mayor consumo eléctrico.

Por tanto, para estas instalaciones es permitida una mejora en la eficiencia económica de la explotación del sistema eléctrico al almacenar electricidad en forma de agua embalsada en el depósito superior. Constituye en la actualidad la forma más económica para el almacenamiento de energía eléctrica.

Las centrales que no tienen aportaciones de agua significativas en el embalse superior se llaman centrales de bombeo puro figura 173. En otro caso, se denominan centrales mixtas de bombeo.

Figura 173 Funcionamiento de una central de bombeo puro



Fuente: Disponible en internet: <<http://ses2.wordpress.com/2012>>

Durante las horas en que la demanda de energía eléctrica es mayor, la central de bombeo funciona como cualquier central hidroeléctrica: Entonces el agua que previamente se almacena en el embalse superior (1) encerrado por una presa (2), llega a través de una serie de conducciones (3) a una tubería forzada (5), que la conduce hacia el salón de máquinas de la hidroeléctrica. En ocasiones para la regulación de las presiones del agua entre los diferentes conductos se construye en ocasiones una chimenea de equilibrio (4).

Dentro de la tubería forzada, el agua va adquiriendo energía cinética (aumentando su velocidad) que, al estrellarse contra los álabes de la turbina hidráulica (6), se convierte en energía mecánica rotatoria.

Esta energía se transmite al generador (7) para su transformación en electricidad de media tensión y alta intensidad. Una vez la tensión es elevada en los transformadores (8) es enviada a la red general mediante las líneas de transporte de alta tensión (10). Una vez que el agua ha generado la electricidad, circula por el canal de desagüe (9) hacia el embalse inferior (11), donde queda depositada. Cuando se hay un registro de un menor consumo de energía eléctrica generalmente durante las horas nocturnas de los días laborables y los fines de semana, se aprovecha el que la electricidad en esas horas tiene en el mercado un coste bajo, y se utiliza para accionar una bomba hidráulica que eleva el agua desde el embalse inferior (11) hacia el embalse superior (1), a través de la tubería forzada y de la serie de conductos.

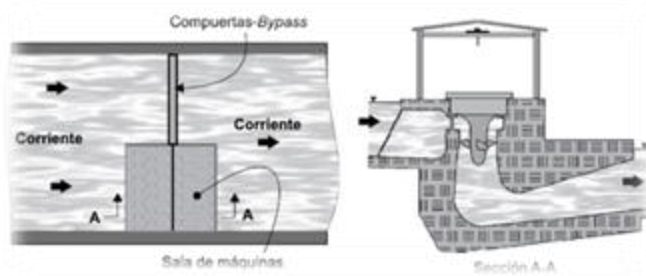
El agua es elevada, normalmente por las turbinas de la central, funcionando como bombas accionadas por los generadores que actúan como motores. Una vez efectuada la operación de bombeo, el agua almacenada en el embalse superior (1) está en condiciones de repetir otra vez el ciclo de generación de energía eléctrica.

10.5.4. Centrales hidroeléctricas integradas en canales de riego.

Para esta situación tenemos dos posibilidades:

- ✓ Instalar la central en el propio canal, aprovechando un desnivel en el mismo. En este caso es necesario instalar un *bypass* para permitir suministrar agua para riego cuando la turbina se para (Figura 174).

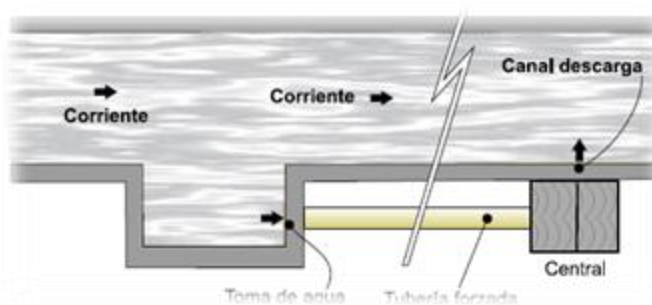
Figura 174 Central en propio canal de riego, aprovechando un desnivel



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías Renovables. [435]

- ✓ La central se instala paralela al canal y se construye una toma lateral del canal para alimentar una tubería forzada instalada a lo largo del canal (Figura 175). El agua, una vez pasa por la turbina se vuelve a volcar en el canal.

Figura 175 Central paralela de riego

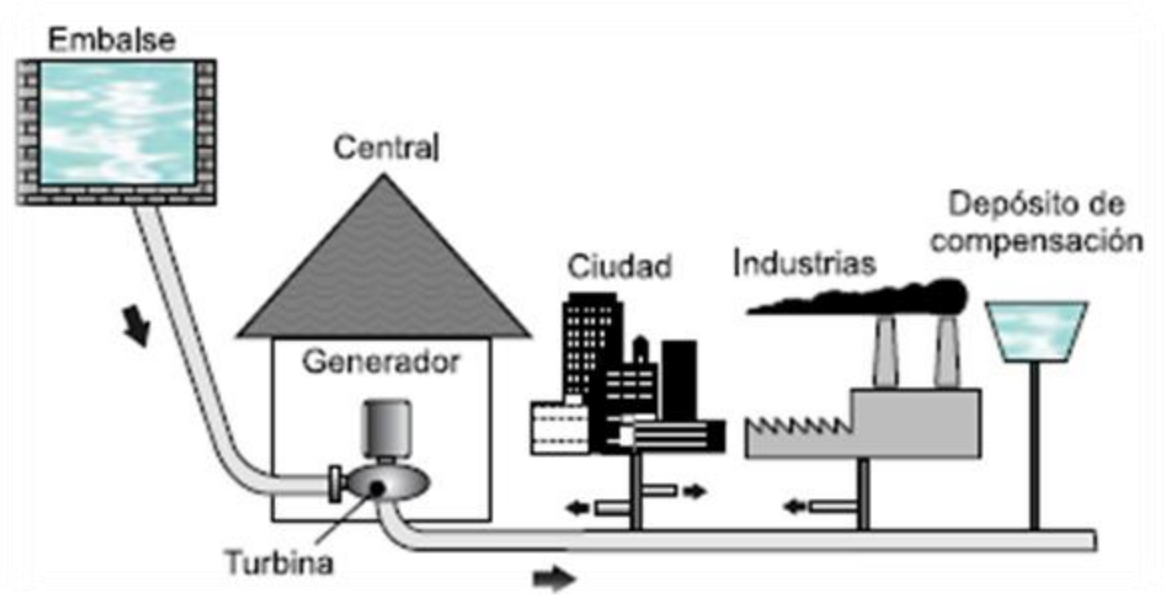


Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías Renovables. [435]

11.5.5. Centrales en tuberías de suministro de agua potable.

Estas centrales consisten en instalar una turbina a la salida de las tuberías de presión, que suministran el agua potable desde los embalses a las estaciones de tratamiento, con el propósito de convertir la energía hidrostática que contiene el agua en energía eléctrica (Figura 176).

Figura 176 Central en red de suministro de agua potable



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías Renovables. [435]

Al igual que las centrales integradas dentro de canales de riego, se precisa instalar un *bypass* con el propósito de garantizar el suministro de agua a la población en el caso de parada de la turbina.

11.6. Tecnología. Subsistemas de las centrales hidráulicas.

De forma general es posible señalar los siguientes subsistemas componentes de una central hidroeléctrica:

- ✓ Obra civil.
- ✓ Turbinas hidráulicas y transmisiones mecánicas.
- ✓ Generadores eléctricos.
- ✓ Subsistema de regulación y control.
- ✓ Subsistema eléctrico auxiliar.

11.6.1. Obra civil.

En cuanto a obra civil se refiere se hace referencia a la parte integral de los elementos de retención y almacenamiento, destinados a retener el cauce de un río, y los elementos de seguridad para la evacuación de caudales, integrados por aliviaderos y compuertas. Así como lo conforman conducciones hidráulicas (toma de agua, tubería forzada, etc.), el canal de descarga y el edificio de la central.

✓ Elementos de retención y almacenamiento

Como parte de los elementos de retención de la energía hidráulica se deben señalar los azudes y las presas. Un azud no es más que un obstáculo de pequeña altura situado transversalmente al curso del agua, y cuya función es remansar el agua para poder derivar en condiciones favorables el caudal deseado. El caudal que no se deriva pasa por encima del azud.

El material y la forma de construcción de los elementos de retención dependen de varios factores, entre los que cabe resaltar el tipo de suelo donde han de sustentarse, probabilidad de fenómenos sísmicos, clima, entre otros. Por tanto, los materiales de los azudes varían desde tierras a hormigón, pasando por los dispositivos inflables o dispositivos hinchables de forma tubular que se rellenan de aire a presión o de agua, que se deforman para permitir el paso de agua sobre ellos cuando el nivel alcanza cierta altura, y que pueden vaciarse o llenarse mediante la actuación de válvulas cuando el nivel del agua es alto o cuando se desea que recuperen su forma normal de operación, respectivamente.

Las presas causan un notable cambio en la elevación del nivel de un río y crean un embalse. Por causa de su elevado costo de inversión, las presas no se suelen utilizar en pequeñas centrales. Sin embargo, en determinadas Proyectos de magnitudes elevadas puede justificarse la construcción de una presa pequeña que

permita regular la energía eléctrica generada y adaptarla a la demanda o a la hora punta. Cabe señalar que una presa es considerada pequeña si su altura, medida desde la base a la coronación, es inferior a 15 m, la longitud en la coronación es menor o igual a 500 m y el agua embalsada es inferior a un millón de metros cúbicos.

Las presas se clasifican en: presas de gravedad, presas de bóveda y presas de bóveda múltiple. Una presa de gravedad contiene la presión del agua por su propio peso. Es decir, el par de vuelco que ejerce el empuje del agua sobre la presa se equilibra con el par que ejerce la reacción del suelo, la cual depende del peso de la presa.

Cuando hablamos de un aliviadero sifónico se puede decir que es un conducto cerrado que comunica el nivel de aguas arriba de la presa con el nivel de aguas abajo. Cuando el nivel del agua sobrepasa el codo del sifón empieza a fluir el agua, de igual manera que un aliviadero en coronación, sin embargo, cuando el sifón se ceba se incrementa notablemente el caudal evacuado.

Asimismo, las presas disponen de elementos que permiten que los peces remonten la corriente. Estas compuertas (Figura 177) utilizadas en los aprovechamientos hidroeléctricos pueden ser de muy diversos tipos. Entre ellas se pueden señalar las compuertas de segmento, las compuertas de sector, las compuertas deslizantes, etc.

Figura 177 Compuerta tipo Taintor



Fuente: Disponible en internet: <<http://dc370.4shared.com/doc/sldDZhJn/preview.html>>

✓ Conducciones hidráulicas

Las conducciones hidráulicas están constituidas por la toma de agua, la cámara de carga y la tubería forzada.

La toma de agua constituye el elemento que toma el agua retenida por el azud o la presa y, a través de un canal de derivación, que puede ser a cielo abierto o enterrado, es conducido a la cámara de carga.

Existe una gran variedad de tipos de tomas, las cuales, generalmente, cuentan con elementos rejilla para evitar la entrada de elementos tales como sólidos y/o peces, así como también cuenta con compuertas para impedir la entrada de agua cuando sea preciso. En muchos de los casos la cámara de carga coincide con la toma de agua y consiste en un depósito en el que, por arrancar la tubería forzada, su diseño es más crítico que el de las tomas de agua. Normalmente, esta cámara esta solo capacitada para poder arrancar la turbina sin que se produzcan interrupciones. La tubería forzada es el elemento encargado de conducir el agua desde la cámara de carga hasta la turbina. Dicha tubería puede instalarse sobre el terreno o enterrada, dependiendo de la orografía del terreno y de cuestiones medioambientales.

El golpe de ariete es un fenómeno que se produce en una tubería como una consecuencia por las fluctuaciones del caudal que circula por dentro de ella, y da lugar a una variación de la presión interna en la tubería, por encima y por debajo de la presión de trabajo. Un caso típico es el que sucede en las centrales hidráulicas, cuando hay una reducción brusca del caudal suministrado a una turbina, cuando se anula la carga del generador mecánicamente acoplado a la misma.

A partir del principio de conservación de la energía, cuando se cierra bruscamente la salida de agua de la tubería, se presenta una disminución de la energía cinética lo cual produce que el fluido se transforme en trabajo de compresión del mismo y en trabajo para dilatar la tubería por la que éste circula. Esto origina una sobrepresión que se transmite desde la válvula hacia el embalse. Cuando toda el agua que circulaba por la tubería se ha detenido, deja de existir la presión que la comprimía y, por tanto, ésta tiende a expandirse y la tubería tiende a contraerse para recuperar sus dimensiones normales.

Esto produce una onda de presión en sentido contrario. Por tanto, el cierre brusco de la salida de agua origina una onda elástica de presión que se mueve sucesivamente desde la válvula hacia el embalse y del embalse hacia la válvula, causando sobrepresiones y depresiones en la tubería.

Una vez el agua ha pasado por la turbina ha de ser devuelto al río mediante el uso de un canal. Este es llamado canal de descarga o desagüe, el cual tiene que ser protegido para que la erosión que puede producir el agua a la salida de la turbina no dañe el salón de máquinas, y debe ser diseñado para que el nivel de la agua en el mismo sea el correcto (así se garantiza que no llegue al rodete de la turbina en períodos de crecida y no dé lugar a problemas tales como la cavitación.

La cavitación es la formación de bolsas de vapor dentro de un líquido, las cuales, generalmente, se presentan en las proximidades de las superficies sólidas que lo

limitan. La cavitación es ocasionada por una disminución hidrodinámica de la presión y por lo que se produce una vaporización local del líquido. Una forma de la acción dinámica del movimiento, que da lugar a depresiones locales, deriva de la conversión de la presión en energía cinética. Entre los aspectos negativos de la cavitación cabe destacar señales de ruidos, vibraciones, desgaste de materiales, etc. La cavitación es un factor importante y decisivo en el caso de las turbinas hidráulicas, ya que delimita el tamaño mínimo de la máquina y la velocidad máxima de giro del rotor de la misma.

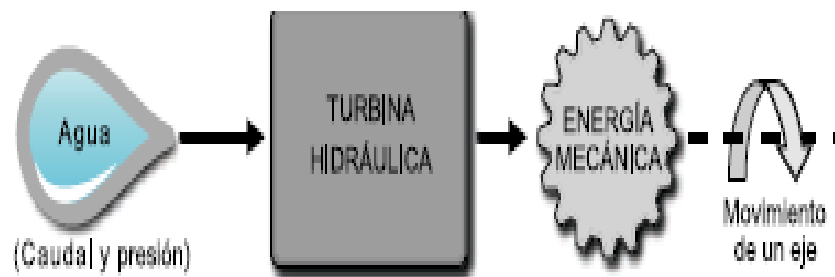
✓ Edificio de la central

En este sitio es donde se encuentran localizadas las turbinas, los generadores eléctricos y demás aparatos de regulación y control. Sus dimensiones y forma depende del número y tipología de los equipos electromecánicos que se han de instalar en el interior y la ubicación requiere adecuados estudios topográficos, geológicos-geotécnicos y de accesibilidad.

11.6.2. Turbinas hidráulicas.

Un elemento esencial en una instalación hidroeléctrica es la turbina hidráulica como puede verse en la Figura 178.

Figura 178 Esquema conceptual de una turbina hidráulica



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías Renovables. [443]

La turbina hidráulica es el aparato con la función de convertir la energía cinética y potencial del agua en energía mecánica de rotación de un eje, el cual se conecta al eje de baja de una caja multiplicadora de engranajes con el propósito de elevar la revoluciones hasta la velocidad de rotación de un generador eléctrico acoplado al árbol de alta de dicha caja.

En cuanto a su funcionamiento, las turbinas pueden ser clasificadas en dos grupos: turbinas de acción y turbinas de reacción.

- ✓ **Las turbinas de acción:** Son aquellas que aprovechan la presión dinámica debida a la velocidad del agua en el momento de su acción en la turbina.
- ✓ **Las turbinas de reacción:** Estas aprovechan además la presión estática al trabajar en el interior de compartimentos cerrados a presión superior a la atmosférica.

Dentro del primer grupo cabe señalar la denominada turbina Ossberger o Banki-Michell, la turbina Turgo con inyección lateral y la turbina Pelton. Las turbinas de acción se clasifican en el grupo de las denominadas turbinas tangenciales, ya que el agua se mueve en un plano tangencial al rodete.

Ahora si miramos el grupo de turbinas de reacción es posible mencionar la turbina Francis y la turbina Kaplan. A diferencia de la turbina de acción, en la cual el rodete opera al aire, en la turbina de reacción el rodete debe estar completamente sumergido para funcionar eficazmente, por tanto, las turbinas de reacción son turbinas de admisión total.

11.6.2.1. Turbina Ossberger o Banki-Michell.

El inventor de esta turbina de flujo transversal también conocida como turbina Banki (o Michell-Banki) fue el ingeniero Australiano A.G.M. Michell, quien obtuvo una patente para esta máquina en 1903.

La turbina Turbina Ossberger o Banki-Michell (Figura 179). Está basada en la teoría de Poncelet, ingeniero francés (1788-1867) quien consiguió el desarrollo de la clásica rueda hidráulica de eje horizontal.

El profesor húngaro Donat Banki en la ex Alemania Occidental realizó un trabajo extensivo sobre esta máquina entre los años de 1912 y 1918. A través de una serie de publicaciones especificó que, para obtener la máxima eficiencia, el ángulo con el cual el chorro golpea al álabe debe ser tan pequeño como sea posible.

Basado en esta suposición calculó los respectivos ángulos de entrada y salida del rotor, ancho del mismo, la forma del flujo a través de éste, curvatura del álabe, etc.

Figura 179 Rotor Ossberger



Fuente: Disponible en internet:

<http://es.wikipedia.org/wiki/Turbina_de_flujo_transversal#mediaviewer/Archivo:Ossberger_turbine_runner.jpg>

Tuvo en consideración cada una de las pérdidas que puedan presentarse que ocurren en el inyector y el rotor, así como también expresó el rendimiento máximo posible como:

$$\eta_{\text{máx}} = 0,771 - 0,384 \cdot \frac{D}{H}$$

Dónde:

D: Diámetro de la turbina y H la altura total.

Sonnek en el año de 1923, reformo la teoría de Banki asumiendo un ángulo de álabe igual a 30° constante, con lo que la expresión del rendimiento máximo resultó en:

$$\eta_{\text{máx}} = 0,863 - 0,264 \cdot \frac{D}{H}$$

Desde esa época se realizaron muchas investigaciones sobre esta turbina a través del tiempo, las cuales han introducido mejoras sustanciales en la eficiencia de la misma.

11.6.2.2. Turbina Pelton.

La turbina Pelton es uno de los diferentes tipos de turbinas y está catalogada como una de las más eficientes. Es una turbo máquina hidráulica, de flujo transversal, admisión parcial y de acción. La turbina Pelton consiste en una rueda (rodete o rotor) la cual está dotada de cucharas en su periferia, las cuales están especialmente realizadas para convertir la energía un chorro de agua que incide sobre las cucharas.

Las turbinas Pelton están diseñadas para trabajos donde se busca el explotar grandes saltos hidráulicos de bajo caudal (Figura 180). Las centrales hidroeléctricas dotadas de este tipo de turbina cuentan, la mayoría de las veces, con una larga tubería llamada galería de presión la cual tiene como función el transportar al fluido desde grandes alturas, a veces de hasta más de doscientos metros. Al final de la

galería de presión se suministra el agua a la turbina por medio de una serie de válvulas de tipo aguja, también llamadas inyectores, los cuales tienen forma de tobera y tienen como fin de aumentar la velocidad del flujo que incide sobre las cucharas.

Figura 180 Turbina Pelton de eje horizontal



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.atmosferis.com/wp-content/uploads/2012/07/pelton.jpg>>

En cuanto al rendimiento de las turbinas Pelton es muy alto, ya que prácticamente el 90% de la energía del agua se transforma en energía mecánica en el árbol. Además este rendimiento se mantiene en un rango de potencias superior al 80%. Son, por tanto, turbinas muy apropiadas para trabajar con cargas parciales, y en consecuencia, para regular sistemas eléctricos.

11.6.2.3. Turbina Turgo.

La turbina Turgo es fabricada por Gilkers & Gordon Ltda. Empresa inglesa. Se trata de una máquina de acción y tiene una gran diferencia de la turbina Pelton por su ángulo de incidencia del chorro del agua. El chorro de la Pelton es tangencial y en la Turgo es lateral. El chorro del agua incide en el inyector y en el rotor lateralmente,

formando un ángulo entre 100 y 200 grados. El agua escurre por las hélices saliendo libremente al otro lado para el canal de fuga. Con rotaciones específicas, variando de 15 a 65 rpm, la Turgo atiende caídas entre 15 a 100 m y caudales de 0,01 a 0,100 m³/s, con potencias de 100W a 100 kW (Figura 181).

Debido a sus particularidades, la turbina Turgo compite con la Pelton Multi-chorros hasta a Francis Normal. Comparada con la Pelton Multi-chorros presenta las siguientes ventajas:

- ✓ Debido a la posición del chorro, la turbina Turgo puede asumir diámetros hasta la mitad de la rueda Pelton para las mismas condiciones.
- ✓ Como la Pelton, la Turgo puede tener hasta tres inyectores.
- ✓ Debido a los mayores caudales admisibles en los inyectores de la rueda Turgo, se presenta una disminución del número de inyectores, y consecuentemente, hay una simplificación en el sistema de control de velocidad.

Figura 181 Turgo Hydro (Water) Turbine Generator Unit



Fuente: Disponible en internet:

<http://www.diytrade.com/china/pd/11742551/Hydro_Turbine_Generator_Unit_Pelton_Francis_Kaplan_Turgo.html>

Con la disminución del diámetro hay un incremento en la rotación, por lo tanto, con caídas menores, es posible lograr rotaciones adecuadas al generador.

Actualmente, además de la Gilkers, nos encontramos con propuestas de otros modelos de turbinas Turgo mucho más simplificados, como ejemplo podemos colocar a los chinos que proponen el uso de hélices semiesféricas que, al modelarlas, permitirán el dimensionamiento y construcción de un prototipo, cuyos resultados obtenidos en ensayos fueron equivalentes al suministrado por la Gilkers.

11.6.2.4. Turbina Francis.

La turbina Francis (Figura 182) y la turbina Kaplan las cuales corresponden al grupo de las turbinas de reacción. A diferencia de las turbinas de acción, en la cual el rodete opera al aire, en la turbina de reacción el rodete debe estar sumergido completamente para tener un funcionamiento eficaz, Es por esta razón que las turbinas de reacción son turbinas de admisión total. La turbina Francis, inventada por el ingeniero de origen inglés James Bichens Francis (1815-1892), es la turbina más comúnmente utilizada en la actualidad en las centrales hidroeléctricas.

Este tipo de turbina, que puede presentar diversidad de formas, se compone de: cámara de alimentación, predistribuidor, distribuidor, rodete y tubo de aspiración. Una característica de esta turbina es el hecho de que el agua cambia de dirección en su paso por la misma. El flujo entra en la turbina en dirección radial fluyendo hacia su eje, pero sale en dirección axial, por ello se dice que es una turbina de tipo radio-axial.

La entrada del agua a la turbina se produce a través de la cámara de alimentación, la cual presenta una topología variada, aunque el tipo que lleva a cabo la admisión óptima del agua utilizando menores dimensiones y más alto rendimiento es la denominada cámara espiral.

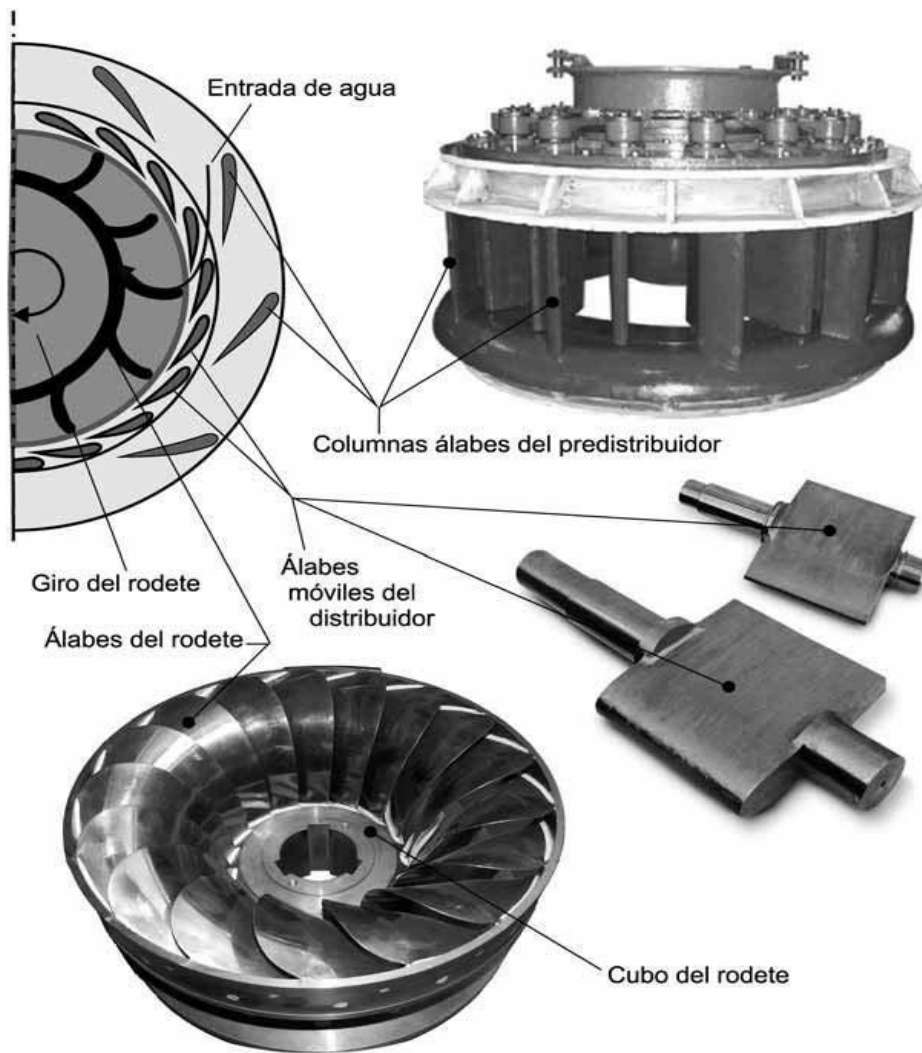
Figura 182 Turbina Francis



Fuente: Disponible en internet: <<http://energiaslimpiasyrenovables.blogspot.com/2011/01/energia-hidraulica.html>>

Los materiales normalmente utilizados para la fabricación de la cámara de alimentación en espiral son el metal (bloque de fundición o un híbrido de chapas soldadas o roblonadas y piezas de fundición) y el hormigón. Existen distintas formas de perfiles de la sección de la cámara de alimentación que se emplean en las cámaras de alimentación de hormigón; ocupando una muy buena posición y siendo unas de las más utilizadas están las de sección rectangular trapecial. Sin embargo, los perfiles de las cámaras de alimentación metálicas suelen ser de tipo circular. La cámara de alimentación espiral tiene como función principal distribuir el agua por toda la periferia del rodete pasando por un componente estático denominado pre-distribuidor y un componente con álabes móviles llamado distribuidor (Figura 183).

Figura 183 Esquema y componentes de una turbina Francis



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables.

[446].

La función primordial del pre-distribuidor es servir de estructura soporte de la turbina y normalmente está compuesta por dos anillos paralelos unidos entre sí por columnas o álabes fijos, que guían al agua en su camino hacia el rodete.

El distribuidor tiene como función la regulación del caudal que se dirige hacia el rodete y de esta forma lograr la regulación de la potencia de la turbina. Asimismo, si la carga se desconecta, el distribuidor puede cerrar el paso del caudal al rodete y

así impedir que la turbina se acelere. Por esto, los ejes de giro de los álabes móviles del distribuidor pueden orientarse entre límites que van desde la posición de cierre total a la de una máxima apertura. Estos álabes móviles giran simultáneamente por un a mecanismos biela-manivela que los conectan a un anillo de regulación, el cual puede ser exterior o interior. El giro del anillo de regulación generalmente se realiza con servomotores.

Como puede observarse en la Figura 183. El rodete está constituido por un conjunto de álabes que están rígidamente unidos por su parte externa inferior a un aro y por su extremo superior a otro aro que contiene al cubo, donde se conecta el árbol de la turbina que es el encargado de transmitir la energía cinética de rotación al generador.

Las turbinas de reacción han de disponer de un tubo de aspiración o difusor, el cual tiene entre sus cometidos:

- ✓ Ser utilizada como vía de transporte para el agua hacia el canal de descarga, una vez que ésta ha abandonado el rodete.
- ✓ Recuperar la altura de aspiración que existe entre la salida del rodete y el nivel de agua del canal de descarga.
- ✓ Recuperar la mayor cantidad de la energía cinética a la salida del rodete, la cual es proporcional a la velocidad específica.

La velocidad específica de una turbina comúnmente se expresarse como el número de revoluciones n_s (rpm) a la que tendría que girar para producir 1 kW de potencia a partir de un salto de 1 metro. Además, se cumple que todas las turbinas con idénticas proporciones geométricas, aunque los tamaños sean diferentes, tienen una misma velocidad específica.

$$n_s = n \cdot \frac{\sqrt{P}}{H^{(5/4)}}$$

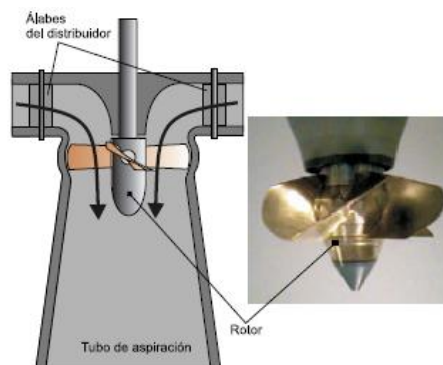
Donde n es la velocidad de sincronismo, P la potencia de la turbina y H la altura del salto.

11.6.2.5. Turbina Kaplan y semi-Kaplan.

La turbina Kaplan, inventada por el ingeniero austriaco Viktor Kaplan (1876-1934), puede ser de dos tipos: de regulación doble y regulación simple o semi-Kaplan.

La turbina Kaplan (Figura 184) cuenta, básicamente, con los mismos componentes que la turbina Francis, es decir, dispone de: cámara de alimentación, un predistribuidor, un distribuidor, un rodete y un tubo de aspiración. Sin embargo, la diferencia con la turbina Francis radica en el rodete de la turbina Kaplan, el cual está compuesto por una hélice cuyas palas son ajustables, lo que le proporciona un mayor rango de operación con más altos rendimientos. Por tanto, la turbina Kaplan cuenta con dos mecanismos de regulación: el distribuidor y el rodete.

Figura 184 Esquema de la turbina Kaplan

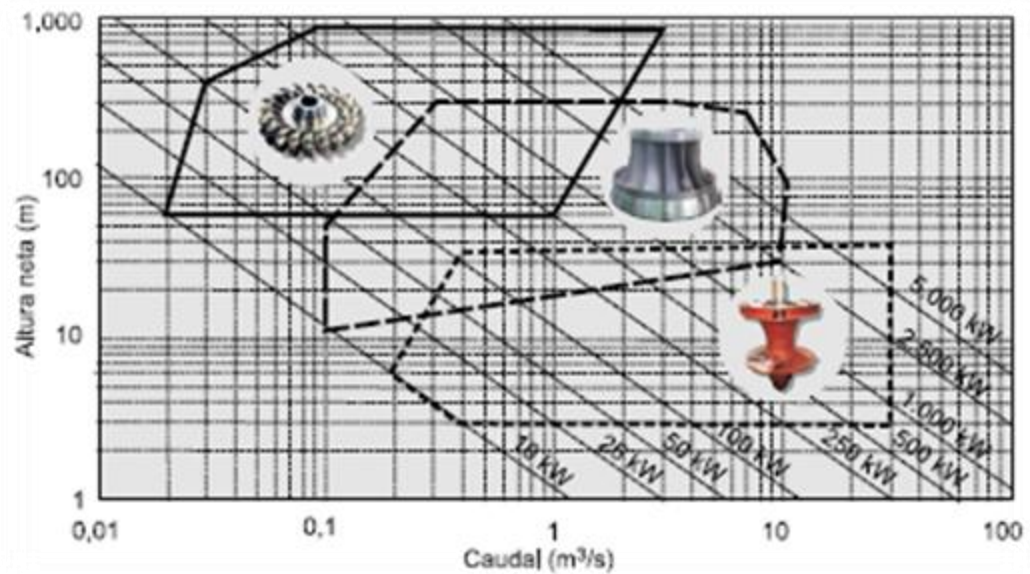


Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [450].

11.6.2.6. Campo de utilización y rendimientos de las turbinas.

Con lo visto hasta el momento podemos decir que cada tipo de turbina dispone de un rango de utilización, en función del caudal y de la altura o salto. Así, la turbina Kaplan es adecuada para saltos pequeños y caudales variables. Sin embargo, para saltos más elevados y menores variaciones de caudal es más apropiada la turbina Francis. La turbina Pelton es recomendable para grandes saltos, independientemente de la variación de caudal (Figura 185).

Figura 185 Rango de utilización de los diferentes tipos de turbinas



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías Renovables [451].

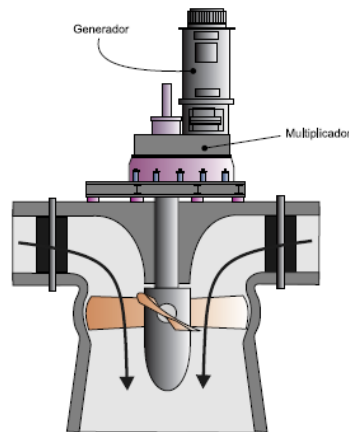
11.6.2.7. Transmisiones mecánicas.

Si una turbina gira a la velocidad de operación del generador eléctrico los árboles de ambos se pueden conectar directamente mediante el empleo de un acoplamiento, generalmente de tipo flexible. Sin embargo, cuando las turbinas de baja altura de carga suelen girar a velocidades entre las 125 y 400 rpm, inferiores a las que precisan los generadores estándar para funcionar entre 1.000 y 1.500 rpm,

por lo cual se precisa instalar un multiplicador de velocidad entre los árboles de ambas máquinas para poder operar (Figura 186).

El uso de un multiplicador de velocidad implica una disminución en el rendimiento global entre un 2% y un 5%.

Figura 186 Esquema Turbina Kaplan con multiplicador y generador



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías Renovables [456].

Generalmente, el multiplicador de velocidad está conformado por una caja de engranajes, aunque también se han utilizado transmisiones de correas para realizar este cometido. Las cajas de engranajes utilizadas pueden ser de árboles paralelos o de árboles cuyos ejes que se cortan. Para transmitir la potencia y el movimiento angular entre árboles paralelos se suelen emplear engranajes cilíndricos de dientes helicoidales externos. Aunque también se emplean trenes de engranajes epicicloides. Cuando se desea transmitir potencia y movimiento angular entre árboles que se cortan (normalmente forman entre si 90°) se suelen emplear engranajes cónicos de dientes helicoidales.

Entre las desventajas del empleo de las cajas de engranajes hay que señalar el incremento del nivel de ruido del edificio de la central.

11.6.3. Generadores eléctricos.

Para transformar la energía mecánica de rotación de la turbina en energía eléctrica se utilizan generadores eléctricos. El generador puede ser de corriente continua (dinamo) o de corriente alterna (alternador). Los segundos son los utilizados en la actualidad.

El alternador está compuesto de dos partes fundamentales: el rotor o inductor móvil, encargado de generar un campo magnético variable al girar arrastrado por la turbina y el estator o inducido fijo, en el que se genera la corriente eléctrica.

Las máquinas eléctricas de corriente alterna típicamente utilizadas se clasifican en máquinas síncronas y máquinas asíncronas o de inducción.

La mayor desventaja de los generadores asíncronos es que necesitan de una batería de condensadores conectada a la salida, la cual tiene como función la de compensar la energía reactiva generada. Para la creación del campo magnético el generador asíncrono debe estar conectado a la red y tomar de ella la corriente reactiva necesaria. Cuando la turbina hidráulica incrementa la potencia se produce un incremento en el deslizamiento. Ya que la red eléctrica es la que fija la frecuencia no se precisa que la turbina disponga de un regulador de velocidad.

11.6.4. Subsistema de regulación y control.

Las centrales hidroeléctricas cuentan con diversos dispositivos de regulación, control y protección adecuados al tipo de tecnología empleada y del funcionamiento previsto. Fundamentalmente controlan la turbina (caudal utilizado por las turbinas, regulación de potencia de centrales aisladas, etc.) y el generador (regulación de la tensión de generadores síncronos, batería de condensadores de grupos asíncronos, etc.). Las protecciones, que pueden ser mecánicas y eléctricas, de los diferentes subsistemas actúan cuando existe una anomalía en su funcionamiento.

11.6.5. Subsistema eléctrico auxiliar.

Como parte del equipamiento eléctrico de una central hidroeléctrica hay que destacar el transformador de tensión, que tiene como función incrementar la tensión para disminuir las pérdidas durante el transporte de la energía.

11.7. Estado del recurso hídrico en el mundo.

El ciclo natural del agua

Aunque el agua es el elemento más abundante en la Tierra, según estudios realizados y especializados en el área se sabe que aproximadamente 2,53% del total es agua dulce y el resto es agua salada. Las dos terceras partes del agua dulce se encuentran inmobilizadas en glaciares y al abrigo de nieves perpetuas. El agua dulce disponible se distribuye regionalmente tal como se indica en la figura 187.

Figura 187 Relación entre la disponibilidad de agua y la población mundial



Fuente: Disponible en internet: <Sitio web de UNESCO-PHI (Oficina Regional de Ciencias para América Latina y el Caribe)>

A la cantidad natural de agua dulce existente en lagos, ríos y acuíferos se agregan los 8.000 kilómetros cúbicos (km³) almacenados en embalses. Los recursos hídricos son renovables (excepto ciertas aguas subterráneas), con enormes diferencias de disponibilidad y amplias variaciones de precipitaciones estacionales y anual en diferentes partes del mundo. La precipitación constituye la principal fuente de agua para todos los usos humanos y ecosistemas. Esta precipitación es recogida por las plantas y el suelo, se evapora en la atmósfera mediante la evapotranspiración y corre hasta el mar a través de los ríos o hasta los lagos y humedales.

El agua de la evapotranspiración mantiene los bosques, las tierras de pastoreo y ecosistemas de todo tipo. El ser humano extrae un 8% del total anual de agua dulce renovable y se apropia del 26% de la evapotranspiración anual y del 54% de las aguas de escorrentía accesibles. El control que la humanidad ejerce sobre las aguas de escorrentía es ahora global y el hombre desempeña actualmente un papel importante en el ciclo hidrológico. El consumo de agua per cápita aumenta (debido a la mejora de los niveles de vida), la población crece y en consecuencia el porcentaje de agua objeto de apropiación se eleva. Si se suman las variaciones espaciales y temporales del agua disponible, se puede decir que la cantidad de agua existente para todos los usos está comenzando a escasear y ello nos lleva a una crisis del agua.

Por otro lado, los recursos de agua dulce se ven reducidos por la contaminación. Unos 2 millones de toneladas de desechos son arrojados diariamente en aguas receptoras, incluyendo residuos industriales y químicos, vertidos humanos y desechos agrícolas (fertilizantes, pesticidas y residuos de pesticidas). Aunque los datos confiables sobre la extensión y gravedad de la contaminación son incompletos, se estima que la producción global de aguas residuales es de aproximadamente 1.500 km³.

Asumiendo que un litro de aguas residuales contamina 8 litros de agua dulce, la carga mundial de contaminación puede ascender actualmente a 12.000 km³.

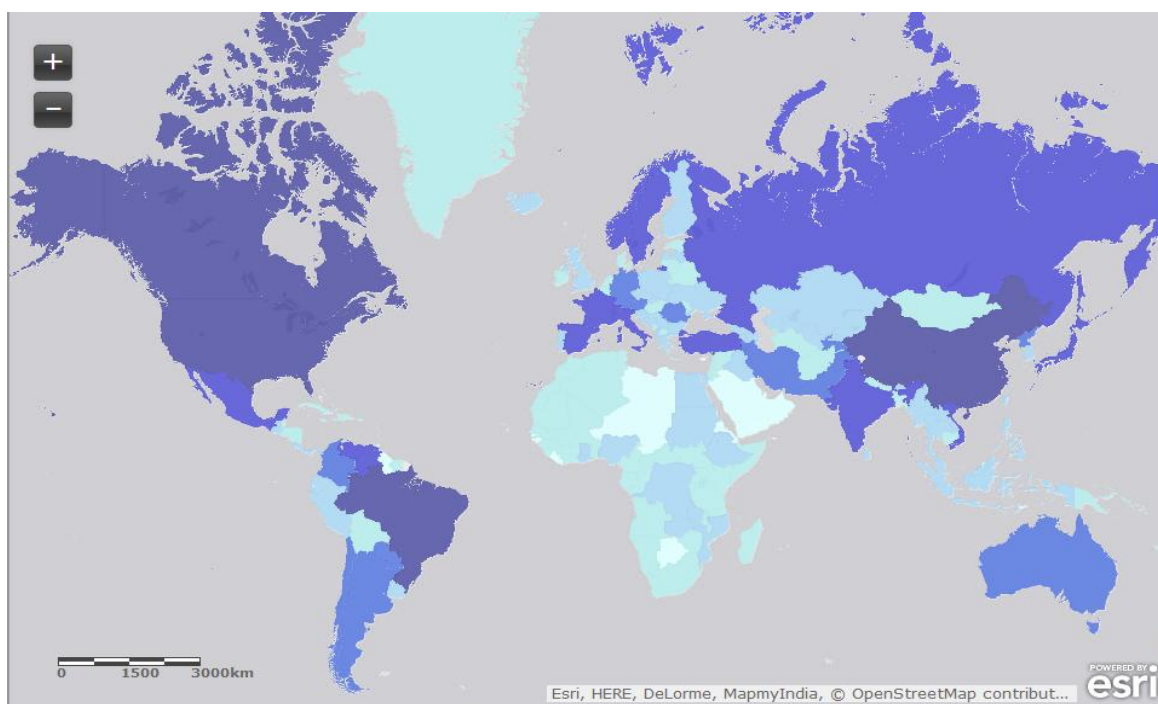
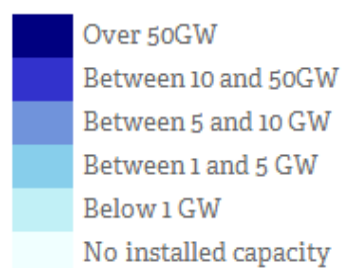
El efecto exacto que el cambio climático causa sobre los recursos hídricos es incierto. La precipitación aumentará probablemente desde las latitudes 30°N y 30°S, pero muchas regiones tropicales y subtropicales recibirán posiblemente una cantidad de lluvia inferior y más irregular. Con una tendencia perceptible hacia condiciones meteorológicas extremas más frecuentes, es probable que las inundaciones, sequías, avalanchas de lodo, tifones y ciclones aumenten. Posiblemente disminuyan los caudales de los ríos y la calidad del agua empeore, sin duda alguna todo esto será causado por el gran incremento de contaminantes y de la temperatura del agua.

11.8. Centrales Hidroeléctricas más grandes del mundo.

La energía hidroeléctrica, obtenida por medio del aprovechamiento de la energía potencial y cinética, de las corrientes y saltos de agua, es una de las fuentes renovables más antiguas y utilizadas del planeta para la obtención de energía. China, es considerado el mayor productor mundial de energía hidroeléctrica, opera dos de las diez mayores instalaciones de producción de energía hidroeléctrica del mundo, encabezada por la presa de las Tres Gargantas situada en el curso del río Yangtsé. En Fieras de la Ingeniería analizaremos las diez centrales hidroeléctricas más grandes del mundo, clasificadas según los parámetros de capacidad instalada. (Figura 188) y se pueden ver las más grandes hidroeléctricas en la figura 189.

Figura 188 Capacidad hidroeléctrica instalada en el mundo

Map legend: installed pure hydropower capacity



Fuente: Disponible en internet:

< <http://www.renewableenergyworld.com/rea/tech/hydropower> >

Figura 189 Centrales hidroeléctricas más Grandes en el mundo

| Presa | Generación | País |
|----------------------------|------------|--------------------|
| Three Gorges | 18,460 MW | China |
| Itaipu | 14,750 MW | Brasil/Paraguay |
| Raul Leoni (Guri) | 10,055 MW | Venezuela |
| Tucuruí | 8,370 MW | Brasil |
| Kashiwazaki-Kariwa | 8,206 MW | Japón |
| Bruce | 6,830 MW | Canadá |
| Sayanao-Shushenskaya | 6,500 MW | Rusia |
| Grand Coulee | 6,495 MW | USA |
| Krasnoyarsk | 6,000 MW | Rusia |
| Zaporizhzhya | 6,000 MW | Ucrania |
| Ulchin | 5,900 MW | República de Corea |
| Yonggwang | 5,900 MW | República de Corea |
| Taichung | 5,834 MW | Taiwán |
| Gravelines | 5,706 MW | Francia |
| Paluel | 5,528 MW | Francia |
| Poryong | 5,454 MW | República de Corea |
| Cattenom | 5,448 MW | Francia |
| Churchill Falls | 5,429 MW | Canadá |
| Bourassa (La Grande-II) | 5,328 MW | Canadá |
| Futtsu | 5,091 MW | Japón |

Fuente: Disponible en internet: < <http://132.248.9.34/hevila/Geotermia/2013/vol26/no1/10.pdf>>

11.9. Estimación de costos de los proyectos hidroeléctricos

Al calcular el costo de un proyecto hidroeléctrico se deben considerar los siguientes costos:

11.9.1. Los costos de inversión.

Corresponde a costos totales (figura 190 y 191) que se deben pagar para un proyecto totalmente construido. Dentro de los costos directos incluyen los gastos directos de construcción, terrenos y servidumbre. Los costos indirectos hacen

referencia a los gastos legales y de administración, costos de ingeniería por diseños, supervisión de construcción, documentos de la licitación, supervisión y fiscalización de la construcción de la obra y supervisión de la puesta en marcha con asesoramiento al personal encargado e imprevisto. Generalmente, su valor se estima como un porcentaje del costo directo. En efecto, para cubrir los costos indirectos, se considera necesario entre el 10 y el 15% de los costos directos de construcción. Un 5% de dichos costos se asignan como gastos administrativos.

Figura 190 Distribución de costos de inversión

| Rubro | Porcentaje del costo (en %) |
|------------------------|-----------------------------|
| Obras civiles | 15 - 40 |
| Equipo electromecánico | 30 - 60 |
| Infraestructura | 10 - 15 |
| Costos indirectos | 10 - 15 |

Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías Renovables [470].

Figura 191. Rangos de costos de inversión para los diferentes tamaños de proyectos. Costos de inversión de proyectos a diferentes escalas

| Tipo de proyecto | Costos de inversión (US\$/kW) | Componentes principales | Posibles variables que pueden afectar el costo |
|--|-------------------------------|---|--|
| Nano turbinas (menos de 1 kW) | 3,000-5,000 | Turbinas. Generadores eléctricos. | Caudal del agua disponible. Demanda existente. Características topográficas. |
| Micro-hidros (1-100 kW) | 3,000-5,000 | Turbinas. Regulador de velocidad. Generadores eléctricos. | Caudal del agua disponible. Demanda existente. Características topográficas. |
| Mini-hidro (100-1.000 kW) Pequeñas centrales (1-5 MW) | 1,500-2,000 | Obras derivación. Canal. Embalse. Vertedor y descarga fondo. Tubería forzada. Sala de máquinas. Equipo electromecánico. Transmisión. | Caudal del agua disponible. Demanda existente. Características topográficas, geológicas y geomorfológicas del sitio. Distancia a la red eléctrica. |

Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías Renovables [470].

11.9.2. Las reposiciones intermedias.

Esta parte hace referencia a los equipos y obras que tienen una vida útil inferior a la vida útil del proyecto global y que deben ser repuestos para conseguir un adecuado funcionamiento de cada una de las instalaciones. Estos valores se incluyen en el cálculo de la tasa interna como un porcentaje del costo total y con una determinada vida útil.

11.9.3. Los costos de operación y mantenimiento.

El costo unitario se expresa (por ejemplo US cents\$/kW/año) en función del tamaño de la central o como un monto anual dado en un porcentaje de la inversión total del proyecto. Generalmente, estos costos fluctúan entre \$ 0,01 y \$ 0,02 por KWh.

La energía hidroeléctrica constituye una tecnología muy conocida. Los sistemas de control del agua y los turbogeneradores para extraer la potencia constituyen tecnologías estándar. Las instalaciones existentes cubren un rango de potencia que abarca desde cientos de vatios a miles de megavatios. Sin embargo, a pesar de los datos disponibles, es muy complicado si no casi imposible generalizar todos los costes de las centrales hidroeléctricas.

El coste de cada kilovatio-hora obtenido mediante un sistema hidroeléctrico depende del coste de la instalación, la cual debe amortizarse a lo largo de la vida; del coste de explotación; y de la energía producida, que depende en gran medida del caudal de agua en el emplazamiento (para una altura dada).

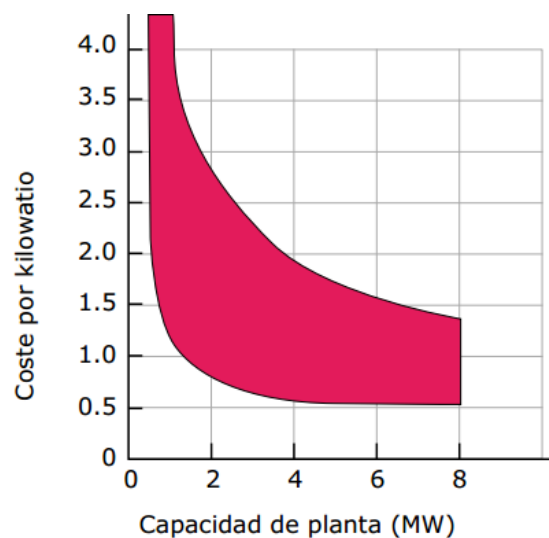
Los costes de la instalación depende fundamentalmente del coste de los siguientes componentes: Maquinaria (turbinas, generadores, multiplicadores, etc.), obra civil (accesos, embalses, canales, tuberías, edificaciones, etc.), sistema eléctrico (líneas eléctricas, transformadores, sistema de control, regulación y protección), e ingeniería y dirección.

El coste que domina lo constituye la instalación, y una gran parte de este coste lo genera los costes de la obra civil los cuales varían notablemente de un lugar a otro. De media, la obra civil puede significar quizás dos tercios del coste de la instalación. Pero podría alcanzar el 80%, o solo el 25%, si la central puede hacer uso de presas existentes y embalses.

Si se toman en consideración los costes de la maquinaria como una cantidad fija para una capacidad de central dada, el costo de la instalación puede variar entre menos de la mitad y más del doble de la media. Este margen puede establecer la diferencia entre viabilidad o no viabilidad del proyecto.

En cuanto a los costos específicos de la instalación se refiere a la capacidad instalada de la central. En la figura 192. Se muestra una estimación de los costes específicos de la instalación para un caso de minicentrales hasta 8MW de potencia instalada.

Figura 192 Costes específicos de la instalación para el caso de minicentrales hasta 8MW



Fuente: Disponible en internet:

<<http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo17.pdf>>

La inversión necesaria para llevar a cabo la instalación de una central hidráulica puede estimarse descompuesta en cuatro grandes partidas, cuyos porcentajes medios se reflejan aproximadamente en la figura 193.

Figura 193 Inversión de los proyectos de Hidroeléctricas



Fuente: Disponible en internet:

<<http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo17.pdf>>

Los costes en cuanto a la explotación se dividen en costes por alquiler de terrenos, costes de operación y mantenimiento (personal, repuesto y consumible), costes de gestión y administración y costes de seguros e impuestos. Estos representan una muy pequeña cantidad comparados con los costes de inversión de la instalación.

Un factor determinante para calcular el coste del KWh producido es el denominado factor de capacidad anual de la central, es decir, el porcentaje respecto de la potencia instalada en que opera la central. Ya que puede existir una diferencia considerable, en cuanto a producción se refiere, entre la generación de la central funcionando constantemente a plena capacidad, y funcionando intermitentemente, usando una fracción de la capacidad instalada. Las centrales hidroeléctricas suelen operar con un factor de capacidad medio algo bajo (40%), si se compara con el de las centrales de energías convencionales que utilizan combustibles fósiles o energía nuclear (60%-80%).

11.10. Impacto sobre el medio ambiente de la energía hidráulica.

Los efectos derivados de las centrales hidroeléctricas que repercuten sobre el medio ambiente: fauna y flora, clima, suelos, etc.

Para cuantificar los efectos y las consecuencias de este tipo de embalsamientos solo habría que magnificar los impactos expuestos. Este tipo de energía al igual que la energía eólica es causada por el sol el cual suministra energía para que evapore las masas de agua que caen en cotas más elevadas en forma de precipitaciones de agua y nieve.

11.10.1. Impacto ambiental sobre el medio ambiente.

Sobre la fauna y flora.

El efecto más destacado sobre los diferentes factores ambientales es el causado sobre las poblaciones de seres vivos que habitan en los ríos. La modificación de estos ecosistemas naturales puede afectar en gran medida a todas las especies presentes al modificar la cadena trófica aguas arriba, debido a cambios en los parámetros fisicoquímicos en el agua embalsada. También aguas abajo debido a la modificación en el arrastre de sedimentos que quedan estancados en las presas puede alterarse el equilibrio ecológico de los ecosistemas presentes. La realización de inventarios de fauna y flora previos es imprescindible para cuantificar las características bióticas del medio ambiente afectado.

Para el caso de las especies piscícolas que remontan los ríos se establecen barreras, imposibles de sortear, que quiebran el ciclo natural de estas especies llevándolas a su desaparición.

Dentro de los terrenos de la ribera también, puede afectar a especies, especialmente vegetales presentes en los márgenes del curso fluvial.

Para el establecimiento de presas se debe hacer un análisis muy detallado de la fauna y flora presente para evitar perjuicios irreversibles derivados de la presencia de endemismos o especies protegidas.

Suelo

Según el tamaño de la presa a construir el efecto de ocupación por el agua de tierras fértiles ha de ser tenido en cuenta y valorado adecuadamente, sobre todo los suelos cercanos a cursos fluviales por su riqueza y por ser aptos para la agricultura.

Si los beneficios derivados de la generación de energía renovable no son lo suficiente para compensar los perjuicios ocasionados al medio se deberían desestimar su construcción y optar por otro tipo de energía verde alternativa.

Clima

Debido a la acumulación de grandes masas de aguas las cuales favorece la evaporación de las mismas y puede afectar al microclima de la zona circundante. En la figura 194 puede verse el problema de nivel bajo en los ríos.

Figura 194 Impacto sobre ríos de la energía hidráulica



Fuente: Disponible en internet: <<http://hidroimpacto.blogspot.com>>

11.11. El potencial hidroeléctrico de América Latina.

La gran variedad de montañas, tierras bajas centrales, una red extensa de ríos y numerosas cuencas convierten a América Latina en una región con enorme potencial para desarrollar un sistema de abastecimiento de agua de excelente calidad. Sin embargo a pesar de todo esto sólo menos del 10% de los recursos hídricos disponibles están siendo aprovechados y administrados por actividades humanas, según los datos de la Global Water Initiative (GWI), dejando a muchas poblaciones con un gran déficit de agua para las diferentes actividades, uso agrícola o producción de electricidad (Figura 195).

En los últimos años, más empresas internacionales se han establecido en América Latina para abordar el problema, mejorando el uso y suministro de agua, desarrollando el sector de la energía hidroeléctrica en la región, con vistas de convertirse en una próspera industria.

En la actualidad se está generando un enorme potencial en la producción de electricidad a través de proyectos hidroeléctricos pequeños, fácilmente personalizados en pequeñas centrales para aprovechar las corrientes naturales de agua continua y así generar energía suficiente para alimentar a la creciente demanda de electricidad, sin mitigar el suministro de agua para la industria y la agricultura.

La difícil situación sociopolítica y socioeconómica que predomina en algunas de las naciones sin embargo, se sigue obstaculizando la aplicación más amplia de plantas de energía a pequeña escala. Por otra parte, un gran nivel de desinformación con respecto a su construcción y los efectos sobre el medio ambiente, ha llevado a la desaprobación en grandes sectores de la sociedad.

Figura 195 Potencial instalado en América Latina



Fuente: Organización latinoamericana de energía – OLADE.

11.12. Ventajas y desventajas de la energía hidráulica.

✓ Ventajas de la energía hidráulica:

- Es una fuente de energía verde ya que la producción es mínima comparada con otras energías.
- El agua almacenada en los embalses situados en la altura favorece la regulación del flujo de los ríos.
- Permite que anualmente se deje de utilizar una cantidad considerable de barriles de combustibles fósiles necesarios para la generación termoeléctrica.

✓ Desventajas de la energía hidráulica:

- Construir centrales hidroeléctricas es un proceso largo y caro y que además requiere de grandes redes de cables de alimentación eléctrica.

- **Los embalses también significan la pérdida de grandes áreas de suelo productivo y alteran la fauna derivado de la inundación de su hábitat.**
- **También causan una disminución en el flujo de los ríos y arroyos por debajo de la presa y pueden alterar la calidad de las aguas.**

Una vez conocidas algunas de las ventajas y desventajas de este tipo energía podríamos es posible decir que este tipo de generación hidráulica cobra vital importancia para la independencia energética de los combustibles fósiles, contribuyendo no sólo en el mundo si no en Colombia con una energía limpia y sustentable, siempre y cuando se haga en armonía con el medio para minimizar impactos ambientales, sociales y culturales.

11.13. Energía hidráulica en Colombia.

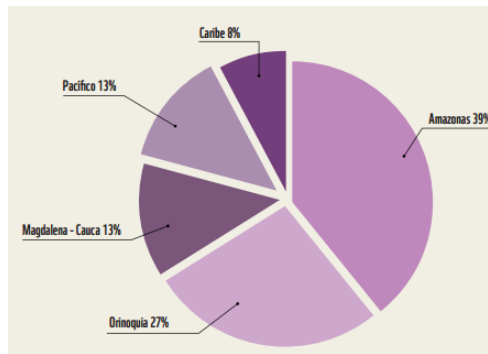
Colombia es un país privilegiado geográficamente en recursos hídricos. Cuenta con acceso a dos mares, más de mil corrientes y una oferta hídrica per cápita de 57.000 m³/año aproximadamente. Sin embargo, la cifra disminuye por factores externos e inadecuado manejo del recurso hídrico.

Es un país de contrastes: en la topografía, en la distribución de la riqueza y de las fuentes de agua. La topografía va desde selvas hasta playas y desde llanuras hasta picos elevados. Pero aun así Colombia es de los países más desiguales en recursos. El agua escasea en algunas partes debido a condiciones naturales e intervención humana. La Guajira, tiene enormes desiertos, mientras que en Chocó, una pluviosidad altísima. La disponibilidad de agua potable también se ve seriamente afectada, varía enormemente: mientras en ciudades como Bogotá y las ciudades principales del país el acceso es prácticamente universal y de una calidad excelente, en la mayoría de las zonas rurales es limitado, de calidad dudosa, e intermitente.

11.13.1. El Balance hídrico en Colombia.

Por su localización geográfica, su orografía y una gran diversidad de regímenes climáticos, Colombia se ubica entre los países con mayor riqueza en recursos hídricos en el mundo (Figura 196). No obstante, cuando se considera en detalle que la población y las actividades socioeconómicas se ubican en regiones con baja oferta hídrica, que existen necesidades hídricas insatisfechas de los ecosistemas y que cada vez es mayor el número de impactos de origen antrópico sobre el agua, se concluye que la disponibilidad del recurso es cada vez menor.

Figura 196 Disponibilidad hídrica en Colombia por área hidrográfica



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.huellahidrica.org/Reports/Arevalo-2012-HuellaHidricaColombia.pdf>>

Según estimaciones que ha hecho el **Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM)**, en promedio en Colombia la precipitación media anual es de 3000 mm con una evapotranspiración real de 1180 mm y una escorrentía medial anual de 1830 mm. Teniendo en cuenta lo anterior, del volumen de precipitación anual, 61% se convierte en escorrentía superficial generando un caudal medio de 67000 m³/s, equivalente a un volumen anual de 2084 km³ que escurren por las cinco grandes regiones hidrológicas que caracterizan el territorio nacional continental, de la siguiente forma: 11% en la región Magdalena – Cauca, 5% en la región del Caribe; 18% para la región del Pacífico; 34% en la región de la Amazonia y 32% en la región de la Orinoquia.

11.14. ISAGEN.

11.14.1. Gestión ambiental y social ISAGEN.

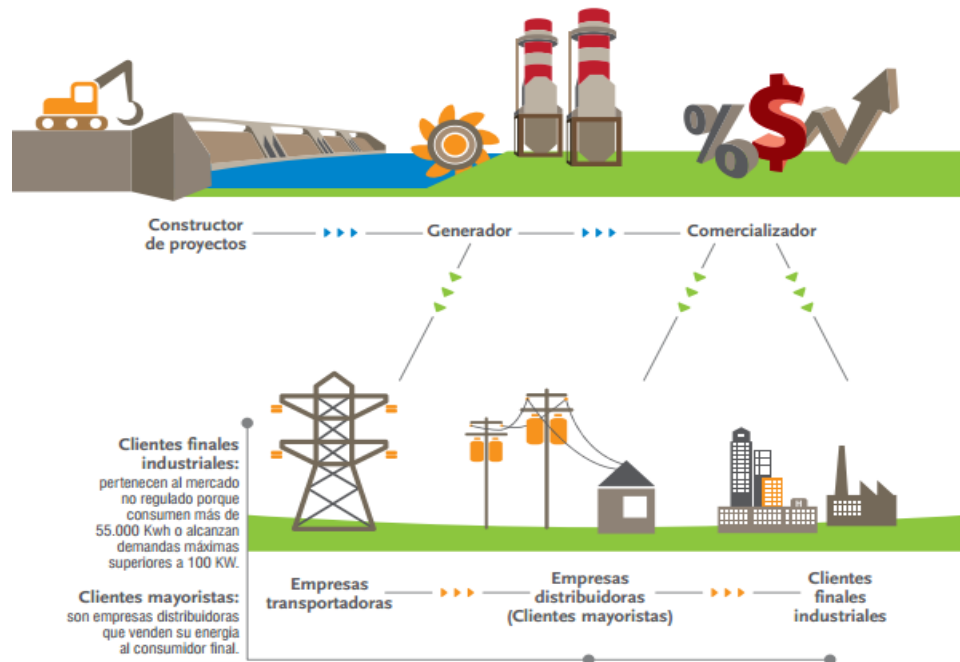
Aspectos relevantes:

- ✓ Generación de empleo (cerca del 60% de la región)
- ✓ Vinculación de empresas santandereanas
- ✓ Educación ambiental a trabajadores y comunidades
- ✓ POMCA del río Sogamoso
- ✓ Reforestación/ restauración ecológica 8000 hectáreas
- ✓ Recuperación de 2000 ha de fuentes hídricas – corredores biológicos
- ✓ Conservación del PNN Yariguíes
- ✓ Recuperación de orillas del bajo Sogamoso
- ✓ Siembra de 5 millones de alevinos por año durante 5 años
- ✓ Elaboración del Plan de Ordenamiento Pesquero - POP
- ✓ Conexión río Sogamoso – ciénaga El Llanito
- ✓ Reubicación de 159 familias en mejores condiciones
- ✓ Saneamiento básico rural 700 familias
- ✓ Infraestructura social en la zona de obras.
- ✓ Mejoramiento de vías

11.14.2. Isagen en el mercado energético.

En el 2012, Isagen con el ánimo de afianzar el crecimiento y contribuir a la atención de la demanda energética del país, en el desarrollo del propio plan de expansión, continúan con la construcción de los proyectos hidroeléctricos Amoyá y Sogamoso que registraron un avance del 97,6% y 71,5% respectivamente. La construcción de estos dos proyectos permitirá a ISAGEN en el 2014 incrementar su capacidad de generación actual en 900 Megavatios y la generación de energía promedio anual hasta en un 60%. (Figura 197)

Figura 197 ISAGEN en el mercado energético



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.huellahidrica.org/Reports/Arevalo-2012-HuellaHidricaColombia.pdf>>

Adicionalmente, una empresa como Isagen intervino en la conformación de un portafolio de proyectos de energía renovable que incluye proyectos hidroeléctricos en distintas etapas de desarrollo como Cañafisto en el departamento de Antioquia y el Desarrollo Hidroeléctrico del Río Patía en los departamentos de Cauca y Nariño, entre otros, así como pretenden desarrollar proyectos geotérmicos en el departamento de Caldas y el Binacional Tufiño Chiles, Cerro Negro en la frontera con Ecuador.

11.14.3. Producción de energía.

Con la operación de seis centrales de generación de energía ubicadas en los departamentos de Antioquia, Tolima, Santander y Caldas, cuentan con una capacidad instalada total de 2.212 megavatios (MW) distribuidos en 1.912 MW

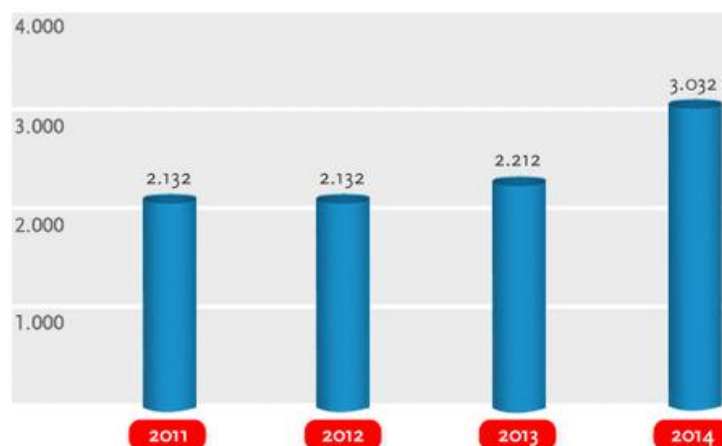
hidráulicos y 300 MW térmicos. Están ubicados así mismo como la tercera generadora más grande de Colombia, lo cual los consolida como agente fundamental en el desarrollo de la industria de energía del país. Esta capacidad se complementa con la representación que tenemos de 150 MW de la interconexión con el país vecino Venezuela.

11.14.4. Capacidad instalada MW de Isagen.

Con el propósito de atender la futura demanda energética en Colombia, lograr el crecimiento de la Empresa y generar confianza al Sistema Interconectado Nacional (SIN), Isagen adelantara un plan de expansión que en 2013 avanzó con el proyecto inaugurado que tiene como nombre Central hidroeléctrica del Rio Amoyá.

Este plan que se ha venido desarrollando terminara con la construcción del proyecto Hidroeléctrico del Rio Sogamoso que se estima este para el 2014 y aumentará la capacidad instalada en 820 megavatios (MW) y la generación media anual en 5.056 gigavatios hora-año (GWh-año), pasando de 2.212 MW a 3.032 MW y de 10.692 a 15.478 GWh-año, respectivamente (Figura198).

Figura 198 Capacidad instalada en MW en Colombia



Fuente: Disponible en internet: <<https://www.isagen.com.co/nuestra-empresa/gestion-de-proyectos>>

11.14.5. Gestión ambiental y social de ISAGEN.

En la parte de gestión ambiental se ejecutó de acuerdo con la normativa legal vigente y los principios de la Política Ambiental de ISAGEN. Dentro de los compromisos legales, las transferencias del sector eléctrico consagradas en el artículo 45 de la Ley 99 a Corporaciones Autónomas Regionales y municipios de sus áreas de influencia ascendieron a \$33.416 millones.

Fueron ejecutados planes de manejo ambiental de todos los centros productivos y proyectos, con una inversión de \$50.138 millones. De forma complementaria, se realizaron inversiones que alcanzaron los \$13.044 millones, las cuales permitieron el desarrollo de los programas de gestión social y biofísica, orientados a la formación y participación comunitaria y al fortalecimiento institucional en las áreas de influencia y al mejoramiento ambiental de las cuencas aportantes, así como al fortalecimiento de los programas de desarrollo y paz que apoya la Empresa.

Como un compromiso de ISAGEN es con la generación del empleo en las zonas donde se construyen los proyectos, a diciembre 31 de 2010 se contaba con 5.819 trabajadores, de los cuales el 54% pertenecen al área de influencia local y regional y el 70% trabajaban para la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso.

11.15. Central hidroeléctrica San Carlos.

Está localizada en el departamento de Antioquia, en jurisdicción del municipio de San Carlos (Figura 199), cerca al corregimiento El Jordán. Con más de 20 años de operación comercial, Es hoy por hoy la central mayor capacidad instalada del país, con 1.240 MW, distribuidos en ocho unidades de 155 MW cada una y con la infraestructura necesaria para la instalación de dos unidades adicionales. Su primera etapa entró en funcionamiento en 1984 y la segunda en 1987.

Figura 199 Central Hidroeléctrica San Carlos



Fuente: Disponible en internet: <<https://www.isagen.com.co/nuestra-empresa/produccion-de-energia>>

11.15.1. Obras civiles.

La central San Carlos tiene el embalse Punchiná que se encuentra localizado sobre el río Guatapé, la presa es del tipo gravedad en tierra con 70 m de altura y 800 m de longitud, formando un embalse con una capacidad de 61,67 Mm³, de los cuales 53,21 Mm³ son de embalse útil. El embalse cuenta con una descarga de fondo controlada por compuertas deslizantes que aprovecha el túnel que se usó para la desviación del río durante la construcción de la presa. El vertedero de la presa es del tipo libre con un canal superficial de concreto, diseñado para evacuar la crecencia máxima probable estimada de 7.200 m³/s.

- ✓ Cuenta con dos torres de captación de 54 m de alto cada una, con secciones circulares en las cuales se alojan las compuertas cilíndricas para el control de flujo del agua. A partir de estas torres de captación se conducen los caudales a los túneles de conducción por medio de dos pozos verticales revestidos de concreto de 147 m de profundidad. Cada torre de captación posee una compuerta cilíndrica, accionada por servomotores hidráulicos.
- ✓ Los túneles de conducción están recubiertos en gran parte de su trayecto por concreto lanzado y en algunos tramos por concreto convencional. Estos túneles empalman con dos pozos de presión inclinados a 46° con la

horizontal y 346 m de longitud cada uno, tienen revestimiento en concreto y sección circular de diámetro interior de 5,50 m, el de la primera etapa, y 6,75 m, el de la segunda etapa. Los pozos inclinados terminan en tuberías de presión de 3,30 m de diámetro embebidas en concreto que en su parte inferior se ramifican en dos distribuidores por cada ramal de tubería de presión, los cuales alimentan cuatro unidades de generación en la primera etapa y cuatro unidades de generación en la segunda, con posibilidad de instalar dos unidades adicionales.

- ✓ La casa de máquinas está conformada por dos cavernas subterráneas paralelas, localizadas a unos 400 m de profundidad. En la caverna principal se alojan las unidades generadoras, mientras que en la segunda se encuentran los 12 transformadores monofásicos de 109/122 MVA cada uno más, 3 transformadores de reserva. El acceso a las cavernas se hace por un túnel vehicular de 1.113 m de longitud y doble calzada pavimentada en concreto.
- ✓ Para la salida de los cables de potencia a 230 KV se dispone de dos pozos inclinados a 47° de 270 m de longitud que terminan en una galería horizontal de 180 m, hasta alcanzar la estructura de salida a la superficie para la conexión a las línea de transmisión y posteriormente se conecta con la subestación San Carlos a 230 KV.
- ✓ La descarga de agua de la Central se entrega al río Samaná Norte a través de dos túneles de 1.587 m de longitud. Los túneles operan como conducto de flujo libre para una descarga de 132 m³/s para la primera etapa de la Central y 198 m³/s para la segunda etapa de la Central con un borde libre de 2,6 m en la parte superior.[6]

[6] <<http://www.isagen.com.co/nuestra-empresa/produccion-de-energia/generacionhidroelectrica/central-hidroelectrica-san-carlos/>>

11.15.2. Equipos principales de generación.

La central San Carlos está constituida por ocho turbinas tipo Pelton de eje vertical, seis chorros, caudal nominal de 32,7 m³/s, caída media de 554 m, para una potencia nominal de 170 MW girando a 300 rpm. Estas turbinas están acopladas a generadores sincrónicos de 170 MVA de potencia nominal con factor de potencia de 0,95 y tensión de salida de 16,5 KV.

Cada turbina cuenta con una válvula esférica de 1,90 m de diámetro y 68 toneladas de peso con un tiempo de cierre de 120 segundos y diseñada para operar con flujo. La energía producida por los ocho generadores es entregada a cuatro bancos de tres transformadores monofásicos de 109/122 MVA que elevan la tensión al nivel de transmisión de 230 KV. Para la conexión de los generadores a los transformadores se utilizan interruptores de potencia con una capacidad de interrupción trifásica de 4.000 MVA a tensión nominal de 16,5 KV.

De cada banco de transformadores de potencia sale un circuito trifásico de 230 KV en cables mono polar aislados en papel impregnado de aceite. Los circuitos tienen una longitud promedio de 450 m instalados en 2 pozos que realizan un recorrido desde la caverna de transformadores hasta una estructura exterior en donde los cables empalman con dos líneas aéreas a doble circuito a 230 KV que van hasta la subestación distante 2,5 km.

11.15.3. Conexión al sistema de transmisión nacional

La generación de la central San Carlos se entrega al Sistema de Transmisión Nacional, STN, para ser llevada a los centros de consumo del Sistema de Transmisión Nacional, utilizando la subestación 230 KV San Carlos que tiene configuración de interruptor y medio.

11.16. Proyecto central hidroeléctrica Sogamoso.

El Proyecto consiste en la utilización de las aguas del río Sogamoso en la generación de energía eléctrica mediante la construcción de una presa y un cuarto de máquinas con tres unidades de generación. Con una capacidad instalada de 820 MW y una generación media anual de 5.056 GWh-año, será una de las cinco centrales más grandes del país que incrementará nuestra producción de energía en un 50% y pondrá al servicio de los colombianos el 10% de la energía que consume el país en un año.

La Central se encuentra ubicada en Santander, en el cañón donde el río Sogamoso cruza la Serranía de La Paz, 75 km aguas arriba de su desembocadura en el río Magdalena y 62 km aguas abajo de la confluencia de los ríos Suárez y Chicamocha.

El embalse y la presa están en jurisdicción de los municipios de Girón, Betulia, Zapatoca, Los Santos y San Vicente de Chucurí, que junto con los municipios de Barrancabermeja, Puerto Wilches y Sabana de torres, ubicados aguas abajo del sitio de presa, conforman el área de influencia del Proyecto

11.16.2. Gestión social y ambiental de ISAGEN, proyecto Hidrosogamoso.

Isagen Desarrolló una gestión social y ambiental de manera integral, procurando la inserción del Proyecto en la región con visión de futuro y con una oportunidad real de desarrollo para el área de directamente afectada mediante interacciones que contribuyan a la protección ambiental, al desarrollo social y al crecimiento económico. Para lograrlo, para poder lograrlo la estrategia será con los programas del Plan de Manejo Ambiental y la gestión complementaria, diseñados para atender dos componentes: social y biofísico.

11.16.3. Mesas de trabajo en hidrosogamoso, Propósito.

“Adelantar la construcción del Proyecto procurando su inserción en la región con visión de futuro y como oportunidad real de desarrollo para el área de influencia, mediante interacciones que contribuyan a la protección ambiental, al desarrollo social y al crecimiento económico [7]. (Figura 200).

Figura 200 Mesas de trabajo Hidrosogamoso



Fuente: Disponible en internet: <<https://www.isagen.com.co/nuestra-empresa/produccion-de-energia>>

11.16.3.1. Mesas de trabajo en hidrosogamoso. Diagnóstico de las comunidades.

Conformadas por comunidades rurales: Campesinos, pescadores, mineros, agricultores, jornaleros.

- ✓ Aguas Arriba: Arraigo por la tierra, débil organización comunitaria. Intereses en negociación de tierras, reasentamiento, vías sustitutivas, cambio climático, turismo, entre otras.

[7] <<http://www.isagen.com.co/nuestra-empresa/gestion-deproyectos/proyecto-sogamoso/gestion-social-y-ambiental/>>

- ✓ Aguas Abajo: Arraigo por el río. Experiencias organizativas, pescadores y mineros. Intereses en fortalecimiento organizacional (comercialización, piscicultura, turismo).
- ✓ Zona de Obra: Híbrido de cultura montaña y río. Economía informal. Asistencialismo. Intereses obras de infraestructura social, empleo y capacitación.

11.16.3.2. Mesas de trabajo en Sogamoso, objetivos.

- ✓ Espacio de acuerdos conjuntos y pactos de convivencia comunidad + empresa, en torno a cada una de las acciones del Proyecto.
- ✓ Identificación de grandes temas del territorio y aquellos relacionados con la inserción del Proyecto en las distintas zonas destinadas para la ubicación.
- ✓ Espacio de análisis de la situación comunitaria, tendiente a perfilar nuevos escenarios de desarrollo, identificando quienes (instituciones y personas) deben participar en un proceso de largo plazo.
- ✓ Diálogo para fortalecer a las organizaciones y líderes del territorio, para que puedan ser interlocutores efectivos con la empresa y otras instancias públicas y privadas en beneficio de iniciativas de desarrollo.

11.17. Conclusiones.

- ✓ No cabe duda que las energías renovables son el futuro de para nuestro planeta. Los recursos fósiles se están acabando y aunque todavía se utilizan masivamente, es necesario un cambio hacia una energía más limpia. Dentro de estas destaca enormemente la energía hidráulica, que utiliza el agua como principal recurso. Debido a sus especiales características, estamos ante una energía verdaderamente limpia y renovable, ya que no influye para nada en el ciclo natural del agua; de este modo, las reservas siempre serán estables.
- ✓ La construcción y desarrollo de las centrales hidroeléctricas está siendo un denominador común en todo el mundo, siendo algunas verdaderamente impresionantes, como las que encontramos en países como China o en Brasil las cuales cuentan con infraestructuras verdaderamente majestuosas. En nuestro país también se aprecia un incremento de la producción, lo que nos sitúa entre los países punteros de energía hidroeléctrica.
- ✓ La energía hidroeléctrica es una fuente de energía muy importante para las vidas nuestras, puesto que funcionan como un medidor de agua, entre menor energía hidroeléctrica podamos obtener, quiere decir que contamos con menor cantidad del valioso recurso hídrico y pues es algo que no deseado.
- ✓ El agua, a pesar de ser un recurso renovable, lo estamos desperdiciando y tarde que temprano se nos agotará por tal razón la importancia de su buen uso.
- ✓ La energía hidráulica, esta fuente de energía alternativa, energía limpia cubre gran parte de las necesidades, por falta de energía a nivel mundial, proporcionando gran parte de esta.
- ✓ Aunque las represas y la construcción de las centrales eléctricas son muy perjudiciales y de costos económicos realmente altos hay que pensar más en los beneficios que traerá como la aniquilación del fósil como elemento energético.

- ✓ La producción de esta energía también es posible mediante varios mecanismos en combinación con otros de diferentes tipos de máquinas y/o aparatos como son los tubos y turbinas básicas sin necesidad de la central en sí.
- ✓ La energía hidráulica aprovecha el movimiento del agua para convertirlo en corriente eléctrica comercial. La primera vez que esto se hizo fue en Northumberland (Gran Bretaña) en 1880 y es una tecnología que se sigue aprovechando en la actualidad con unas pocas modificaciones más que todo se ha tratado es de hacer más eficientes cada componente de las centrales hidráulicas.
- ✓ La energía hidroeléctrica es un recurso natural especialmente indicado para zonas lluviosas o por las que circulan ríos caudalosos; es recomendable que estos ríos tengan cauces poco variables aunque en el caso de ríos con caudales oscilantes es posible la implementación y uso de azudes o embalses para el almacenamiento de agua en tiempos de sequía.
- ✓ Desde épocas antiguas la energía hidroeléctrica y turbinas han sido utilizada en un comienzo por los antiguos romanos y griegos.
- ✓ Dada la importancia del recurso hídrico es de vital importancia el buen uso para evitar escasez y problemas sobre el medio ambiente nuestro habitad.
- ✓ En la energía hidráulica se basa en aprovechar la caída del agua desde cierta altura. La energía potencial, durante la caída, se convierte en cinética que hace mover las turbinas y luego los generadores para así obtener como producto final la electricidad.

12. ENERGÍA DE LA BIOMASA

12.1. Introducción.

La biomasa es la fuente de energía renovable que es más fácil de utilizar ya que tiene un costo menor que cualquier otra energía. En la actualidad todos los países están centrados en buscar una fuente de energía diferente a la fósil que tenga un gran grado de versatilidad. La biomasa proviene principalmente del Sol, ya que ella es convertida en vegetación por medio de la fotosíntesis y a su vez esta es transformada en materia prima para la producción de energía, ya sea térmica o eléctrica

12.2. Objetivos.

12.2.1. Objetivo General.

Estudiar la energía de la biomasa como energía renovable y sus características principales como su origen, su obtención, la tecnología utilizada y el potencial que tiene Colombia en esta energía alternativa.

12.2.1.1. Objetivos Específicos.

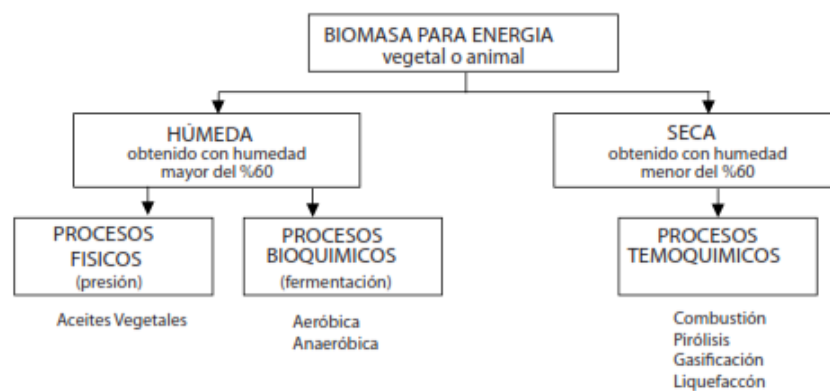
- ✓ Conocer los procesos utilizados para la obtención de energía por medio de la biomasa.
- ✓ Investigar las tecnologías utilizadas para el aprovechamiento de la biomasa
- ✓ Identificar las energías de biomasa utilizada en Colombia, además del biodiesel.

12.3. Biomasa.

La biomasa es la materia orgánica producida por las plantas y animales, esta materia es utilizada para producir energía por diferentes métodos de conversión ya sean naturales o artificiales.

Para la obtención de la energía biomasa se puede obtener por medio de un proceso termoquímico o bioquímico. (Figura 201).

Figura 201 Clasificación de la biomasa



Fuente: Libro, energías renovables 2008

12.3.1. Biomasa Seca.

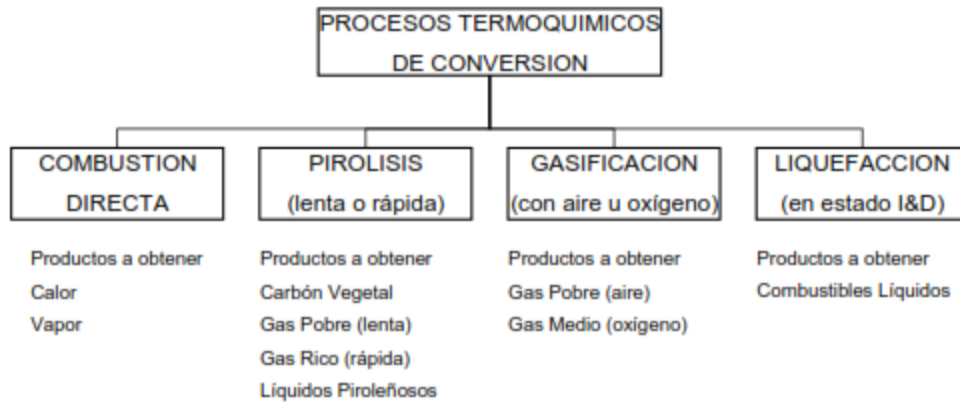
Se obtiene en forma natural con una humedad menor al 60%, este tipo es mejor utilizada energéticamente en un proceso termoquímico figura 202 y se obtiene combustibles sólidos, líquidos o gaseosos.

Para la producción de combustible se utiliza la leña, cortezas, cascaras de almendras, poda de frutales, etc.

12.3.2. Biomasa Húmeda.

Como su porcentaje de humedad es superior al 60% se obtienen combustibles líquidos o gaseosos. Para este proceso se utilizan restantes vegetales, aguas residuales y residuos de animales.

Figura 202 Proceso Termoquímico



Fuente: Libro, energías renovables 2008

Los procesos termoquímicos de conversión de biomasa en energía se realizan reacciones químicas irreversibles a altas temperaturas y condiciones variables de oxidación. Este proceso se puede realizar por combustión, pirolisis o gasificación.

12.4. Combustión.

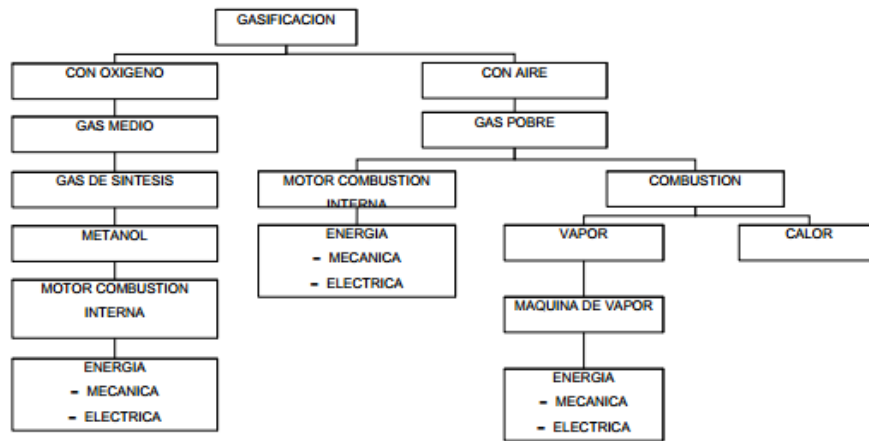
Es el proceso más antiguo y sencillo de usar, el cual nos permite obtener energía térmica ya sea para uso doméstico, por medio un fogón a fuego abierto o por medio de una caldera de vapor.

12.5. Gasificación.

En el proceso de gasificación se quema biomasa con presencia de oxígeno de manera controlada para obtener un gas combustible llamado gas pobre por su bajo contenido calorífico (figura 203).

Este gas pobre que se obtiene en la gasificación es utilizado después para la producción energía térmica.

Figura 203 Gasificación



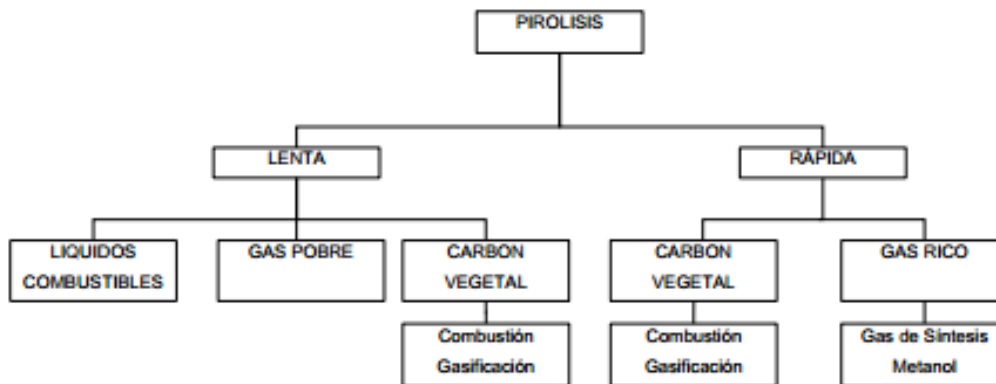
Fuente: Libro, energías renovables 2008

12.6. Pirolisis.

Este proceso es similar a la gasificación con una oxigenación parcial y controlada, ya sea para obtener combustible sólido como carbón vegetal, combustible líquido como efluentes piroleñosos o gas pobre. (Figura 204)

Por lo general por este proceso se obtiene carbón vegetal siendo los combustibles líquidos y gaseosos subproductos del proceso.

Figura 204. Pirolisis

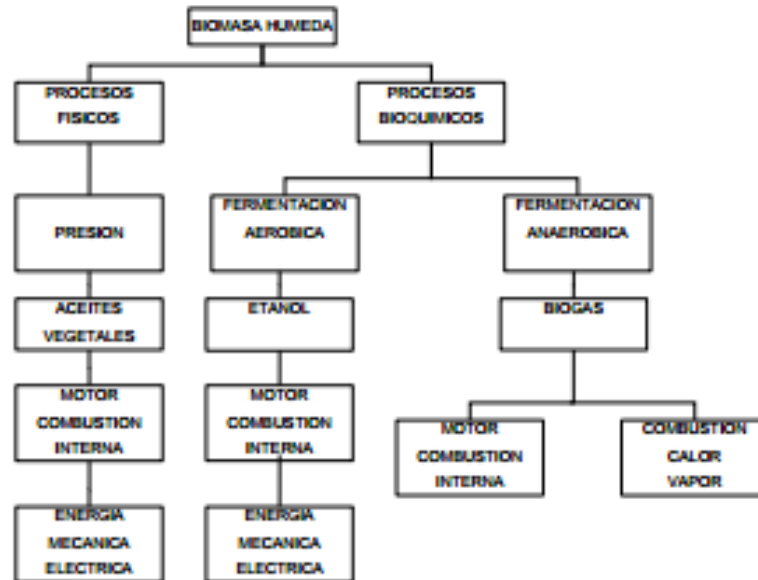


Fuente: Libro, energías renovables 2008

12.7. Proceso bioquímico.

El proceso bioquímico figura 205, de obtener energía se lleva a cabo por medio de microorganismos y de dos formas, ya sea en presencia de aire (aeróbicos) o ausencia de aire (anaeróbicos).

Figura 205 Proceso bioquímico



Fuente: Libro, energías renovables 2008

12.7.1. Procesos anaeróbicos.

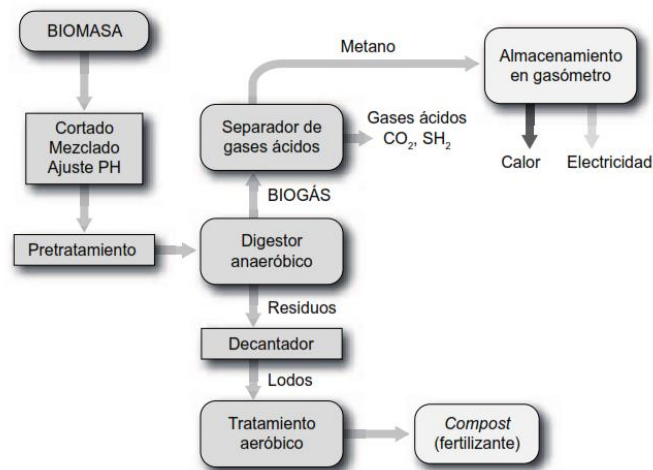
Este proceso es utilizado para obtener un gas denominado biogás, para el cual se utiliza residuos animales o vegetales de baja relación carbono/nitrógeno en un recipiente cerrado, llamado digester, además el residuo del biogás que es producido en el proceso es utilizado como fertilizante.

12.7.1.1. Proceso de producción de biogás.

El proceso de producción se desarrolla en tres etapas, en la primera etapa (hidrólisis) las bacterias descomponen la materia en azúcares. En la segunda los

azúcares se transforman en ácidos orgánicos (acetogénica). En la tercera etapa (metanogénica) se produce la transformación de los ácidos anteriores en metano (CH_4) y gases ácidos (SH_2 , CO_2). (Figura 206)

Figura 206 Esquema de un proceso anaeróbico



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables

12.7.1.2. Digestores de biogás.

Uno de los factores que afectan el proceso es el tipo de digestor utilizado en el proceso, ya que existen dos tipos de digestores figura 207, digestores continuos y digestores discontinuos.

Figura 207 Digestor de biogás

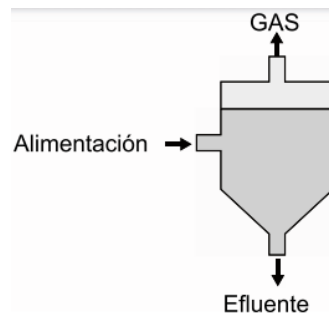


Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables

12.7.1.2.1. Digestores discontinuos.

Como su nombre indica, este proceso es discontinuo figura 208 ya que el digester no se llena de biomasa fresca hasta que la biomasa que se introdujo en el proceso anterior no haya fermentado y se haya recogido el biogás producido y los residuos de esta.

Figura 208 Digestor discontinuo convencional



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables

En estos digestores para conseguir un proceso cercano al continuo de producción de biogás, deben combinarse varios digestores discontinuos con puestas en marcha intercaladas en el tiempo. Estos digestores son aplicables con residuos de alta concentración de sólidos tales como residuos de ganado vacuno con leche de paja.

12.7.1.2.2. Digestores continuos.

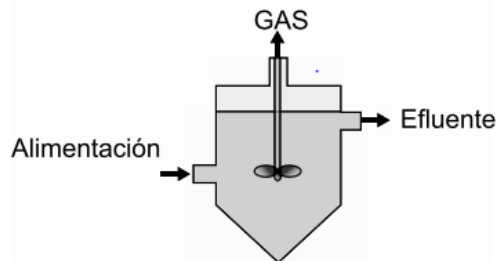
En los digestores continuos no cesa la actividad de producción de biogás y se dividen en tres tipos dependiendo del tiempo de residencia hidráulico (TRH), que es el tiempo de que la biomasa permanece en el digester.

12.7.1.2.2.1. Digestor de mezcla completa.

Estos tipos de digester figura 209 mantienen una distribución uniforme de concentraciones tanto de substrato como de microorganismos, esto se logra por medio de un sistema de agitación el cual puede ser mecánico (hélices u palas) o

neumática (recirculación de biogás a presión) este tipo es el más utilizado ya que no ofrece problemas de diseño y su THR es el más alto de todos ya que puede durar de 15 a 25 días.

Figura 209 Digestor de mezcla completa



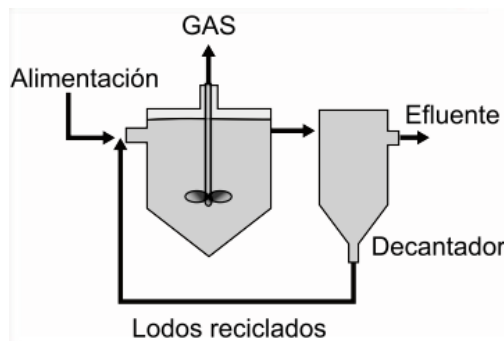
Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables

12.7.1.2.2. Digestor de contacto.

Este digestor anaeróbico es equivalente a un sistema de lodos activos para el tratamiento de aguas residuales. Estos sistemas separan los microorganismos en el decantador para la recircular, por lo que se logra un tiempo de residencia menor, el cual es de 4 a 8 días (figura 210)

El sistema es utilizable en aguas residuales de alta carga orgánica (aguas residuales de azucareras, cervecerías, etc.).

Figura 210 Digestor de contacto



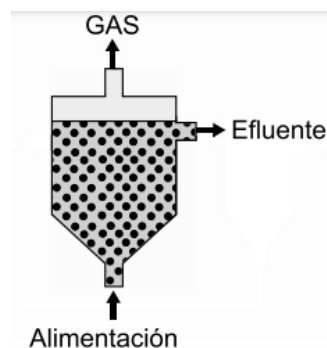
Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables

12.7.1.2.2.3. Digestor de filtro anaeróbico.

En este sistema las bacterias están fijadas a la superficie de un soporte inerte formando biopelículas, columnas de relleno, o atrapadas en los intersticios de este, con flujo vertical. (Figura 211)

Como el TRH es de 1 a 4 días es extensamente utilizado en el tratamiento de aguas residuales de industria agroalimentaria, y existen experiencias piloto para la fracción líquida de residuos ganaderos.

Figura 211 Digestor de filtro anaeróbico

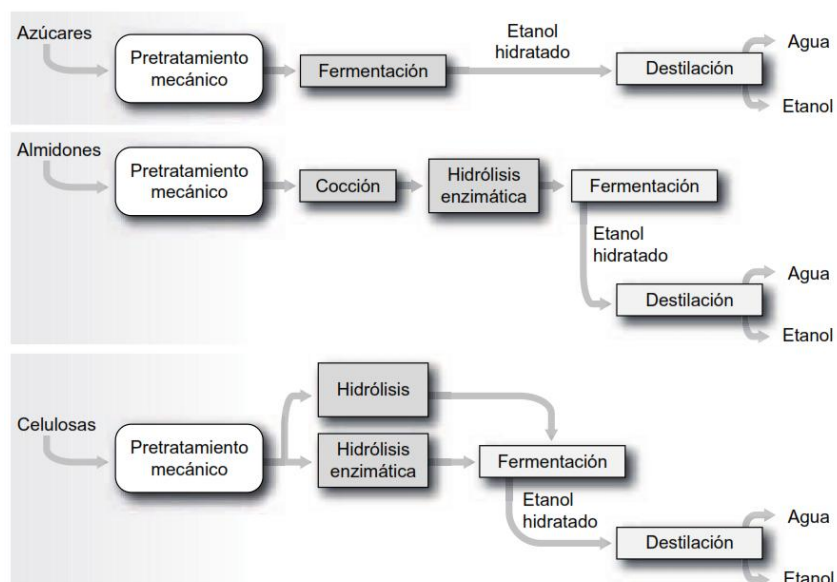


Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables

12.8. Procesos aeróbicos.

El proceso aeróbico figura 212, se realiza por medio de la fermentación de azúcares, almidones y celulosas para la producción de etanol, el cual es un combustible líquido con características similares a las obtenidas por la refinación de petróleo.

Figura 212 Procesos aeróbicos



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables

12.9. Clasificación de la biomasa.

La biomasa se clasifica según los recursos y el correcto aprovechamiento que se tenga para la producción de energía.

12.9.1. Recursos forestales.

12.9.1.1. Plantaciones enérgicas

Cuando la explotación forestal se destina específicamente a la producción de energía, se eligen especies que no tengan características deseables en otros usos, además que presenten un rápido crecimiento. Un ejemplo son los montes de eucaliptus que se destina para la producción de carbón mineral para la siderurgia, el cual tiene un ciclo de 3 a 7 años.

12.9.1.2. Residuos.

Ya que la madera es utilizada para diferentes actividades, sus residuos como corteza, pulpa, aserrín, viruta, etc., son materia para la producción de carbón mineral.

12.9.1.3. Recursos agrícolas.

- ✓ Cultivos energéticos: Hoy en día una parte de tierras utilizadas para el cultivo de alimentos se están utilizando para el cultivo de caña de azúcar, remolacha para la obtención de alcohol combustible, como la plantación de girasol para la obtención de aceite vegetal combustible ya que la tierra utilizada para estos cultivos tiene que ser de gran calidad agrícola.
- ✓ Residuos Son utilizadas las partes de las plantas utilizadas para alimentación que no son útiles para este fin como la paja de trigo, rastrojo de maíz, tallos de algodón, etc.

Ya desde el punto de vista de utilidad para energía el proceso de conversión es diferente, dependiendo del grado de humedad.

- ✓ Recursos pecuarios: La utilidad energética de estos recursos se ven restringidas a casos en que los animales son criados en zonas limitadas ya que en zonas de extensiones grandes es muy difícil su recolección.
- ✓ Recursos agroindustriales: Los residuos de procesos industriales de productos agropecuarios pueden ser utilizados para la producción de energía, como el bagazo de caña de azúcar en los ingenios puede alimentar las calderas o el refinado de arroz en el que la cascara puede quemarse para producir vapor para generar electricidad para los molinos.

12.10. Aprovechamiento de la biomasa.

Tradicionalmente la biomasa forestal como los residuos de los cultivos agrícolas se ha utilizado para la producción de energía como combustible en hogares rurales.

En la actualidad un correcto aprovechamiento se plantea desde el desarrollo de avances tecnológicos para lograr un uso sostenible y fiable como energía renovable

12.11. La biomasa en Colombia.

12.11.1. Potencial de la energía de biomasa en Colombia.

Colombia por su posición geográfica y variedad de clima ofrece una gran cantidad de tierra para las actividades agropecuarias, el país cuenta con una superficie de 114.174.800 hectáreas de las que el 44,77% se estima que están destinadas para la actividad agropecuaria, además posee un área marítima de 928.660 km² con una gran variedad de hábitats acuáticos que son gran fuente de biomasa.

El país cuenta con 4.058.470 hectáreas dedicadas a especies permanentes como la caña de azúcar, la palma de aceite, el arroz, la caña de panela, el maíz, el café y el banano. El sector pecuario cuenta con 38.848.207 hectáreas, el 76% del área dedicada a las actividades agropecuarias, lo que genera grandes cantidades de estiércol

Los 32 departamentos de Colombia generan 21.000 t/días de residuos sólidos procedentes de las actividades comerciales, residenciales e industriales, donde el 56% es residuo orgánico. En conclusión la biomasa residual puede llegar a ser una gran alternativa de energía renovable para el país. (Figura 213 y 214).

Figura 213 Potencial energético de la biomasa residual del sector agrícola en Colombia

| Cultivo | Producción ¹ [t/año] | Tipo de residuo | Origen del residuo | Factor de residuo ² | Masa de residuo | Potencial energético |
|-----------------|---------------------------------|--------------------|--------------------|--|-------------------|----------------------|
| | | | | [t _{residuo} /t _{producto principal}] | [t / año] | [TJ / año] |
| Palma de Aceite | 872.117 | Cuesco | RAI | 0,22 | 189.074 | 2.627,44 |
| | | Fibra | | 0,63 | 546.381 | 6.778,89 |
| | | Raquis de Palma | | 1,06 | 924.618 | 6.607,31 |
| Caña de Azúcar | 2.615.251 | Hojas - Cogollo | RAC | 3,26 | 8.525.718 | 41.707,22 |
| | | Bagazo | RAI | 2,68 | 7.008.873 | 76.871,65 |
| Caña Panelera | 1.514.878 | Bagazo | RAC | 2,53 | 5.680.790 | 62.305,56 |
| | | Hojas - Cogollo | RAI | 3,75 | 3.832.640 | 18.749,01 |
| Café | 942.327 | Pulpa | RAI | 2,13 | 2.008.192 | 7.206,79 |
| | | Cisco | | 0,21 | 193.460 | 3.338,57 |
| | | Tallos | RAC | 3,02 | 2.849.596 | 38.561,52 |
| Maíz | 1.368.996 | Rastrojo | RAC | 0,93 | 1.278.642 | 12.573,18 |
| | | Tusa | | 0,27 | 369.629 | 3.645,88 |
| | | Capacho | | 0,21 | 288.858 | 4.383,73 |
| Arroz | 2.463.689 | Tamo | RAC | 2,35 | 5.789.669 | 20.699,41 |
| | | Cascarilla | RAI | 0,2 | 492.738 | 7.136,53 |
| Banano | 1.878.194 | Raquis de banano | RAC | 1 | 1.878.194 | 806,31 |
| | | Vástago de banano | | 5 | 9.390.968 | 5.294,27 |
| | | Banano de rechazo | RAI | 0,15 | 281.729 | 495,34 |
| Plátano | 3.319.357 | Raquis de plátano | RAC | 1 | 3.319.357 | 1.425,00 |
| | | Vástago de plátano | | 5 | 16.596.783 | 9.356,64 |
| | | Plátano de rechazo | RAI | 0,15 | 497.903 | 875,43 |
| TOTAL | 14.974.807 | | | | 71.943.813 | 331.645,71 |

Fuente: Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia

Figura 214 Potencial energético departamental de la biomasa residual del sector agrícola

| Departamento | Área sembrada | Producción | Cantidad de residuo | Potencial energético |
|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|
| | [ha] | [t producto/año] | [t/año] | [TJ/año] |
| Antioquia | 325.738 | 13.184.130 | 26.673,30 | 2.063,92 |
| Atlántico | 11.726 | 38.761 | 307,76 | 6,09 |
| Bolívar | 125.453 | 819.524 | 4.607,56 | 114,35 |
| Boyacá | 45.363 | 1.340.143 | 9.736,35 | 121,06 |
| Caldas | 121.189 | 2.404.498 | 11.507,22 | 641,65 |
| Caquetá | 29.469 | 645.889 | 1.565,73 | 284,83 |
| Cauca | 129.520 | 4.079.220 | 26.589,72 | 457,41 |
| Cesar | 141.734 | 1.097.522 | 7.388,11 | 72,69 |
| Córdoba | 132.212 | 2.261.839 | 5.328,11 | 970,16 |
| Cundinamarca | 124.894 | 2.582.374 | 16.752,95 | 261,75 |
| Choco | 42.864 | 930.695 | 2.795,97 | 359,11 |
| Huila | 193.236 | 3.000.148 | 18.170,08 | 409,43 |
| La Guajira | 22.090 | 195.808 | 670,76 | 48,76 |
| Magdalena | 93.548 | 3.235.501 | 4.951,41 | 52,81 |
| Meta | 189.145 | 2.993.602 | 10.585,44 | 859,52 |
| Nariño | 116.737 | 2.258.319 | 12.207,05 | 501,72 |
| Norte de Santander | 88.398 | 1.273.347 | 5.705,87 | 258,85 |
| Quindío | 77.388 | 2.505.708 | 4.709,84 | 1.161,94 |
| Risaralda | 80.286 | 2.191.034 | 8.116,64 | 683,55 |
| Santander | 124.290 | 2.153.833 | 15.398,77 | 206,13 |
| Sucre | 62.676 | 587.155 | 2.829,64 | 26,83 |
| Tolima | 272.111 | 5.245.271 | 23.518,70 | 965,15 |
| Valle del Cauca | 306.202 | 14.859.256 | 105.486,90 | 516,50 |
| Arauca | 31.111 | 557.614 | 1.092,20 | 258,66 |
| Casanare | 74.413 | 963.838 | 3.869,42 | 112,26 |
| Putumayo | 26.991 | 350.428 | 749,72 | 148,02 |
| Amazonas | 877 | 12.735 | 10,58 | 7,05 |
| Guainía | 156 | 5.171 | 3,95 | 2,90 |
| Guaviare | 11.538 | 147.177 | 243,33 | 74,60 |
| Vaupés | 932 | 10.589 | 14,69 | 5,52 |
| Vichada | 779 | 12.033 | 50,99 | 3,83 |
| TOTAL | 3.003.064 | 71.943.162 | 331.638,72 | 11.657,07 |

Fuente: Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia

12.12. Aplicaciones de la energía de biomasa en Colombia.

Con la aprobación de la ley 693, se dio entrada a la nueva era de los combustibles de origen vegetal, la promulgación de esta ley tuvo el propósito de diversificar la canasta energética colombiana.

12.12.1. Producción de alcohol carburante.

Figura 215 Cultivo de maíz



Fuente biocombustibles en Colombia

Las tecnologías aplicadas para la producción de etanol se hacen por medio de fermentación e hidrolisis de caña de azúcar, de maíz, pero hay ofertas tecnológicas para el procesamiento de la yuca, la remolacha y de otras materias prima. Figura 215

Hoy en día el alcohol carburante proviene del procesamiento de la caña de azúcar del valle del rio cauca, por sus condiciones agro-climáticas esta región permite cosecha y molienda de caña durante todo el año, a diferencia del resto del mundo que su cosecha se hace en forma estacionaria, lo que lo hace la principal fuente de alcohol carburante en el país.

En esta región se encuentra trece ingenios azucareros y las cinco destilerías que se encuentran en el país. Figura 216

Figura 216 Plantas de etanol en producción

| REGIÓN | INVERSIONISTA | CAPACIDAD INSTALADA (l/día) | ÁREA SEMBRADA (ha) | EMPLEOS |
|------------------------|---------------|-----------------------------|--------------------|--------------|
| Cauca, Miranda | Incauca | 300.000 | 10.781 | 1.941 |
| Valle, Palmira | Providencia | 250.000 | 8.984 | 1.617 |
| Valle, Palmira | Manuelita | 250.000 | 8.984 | 1.617 |
| Valle, Candelaria | Mayagüez | 150.000 | 5.390 | 970 |
| Risaralda, La Virginia | Risaralda | 100.000 | 3.593 | 647 |
| TOTAL | | 1.050.000 | 37.732 | 6.792 |

Fuente: Biocombustibles en Colombia

Del etanol total producido el 61% se obtiene en el Valle, 29% en el Cauca y el 10 % restante se obtiene en Risaralda. El cual es transportado en carro tanques a los centros de consumo, hoy en día toda la gasolina que se encuentra en el país contiene un 10% de etanol.

12.12.2. Biodiesel.

El biodiesel es un combustible de origen vegetal que puede reemplazar al Diesel o ACPM, en el uso para motores de combustión interna alternativos. A diferencia de estos su naturaleza es biodegradable y renovable lo que lo convierte en una alternativa sostenible.

Las características del biodiesel dependen de la materia prima utilizada para el procesamiento y a las disposiciones que hay en cada país.

En Estados Unidos se utiliza aceite de soya que hay gran disponibilidad de esta materia prima, en Malasia se utiliza aceite de palma ya que es tradicional su cultivo en ese país

En Colombia la producción se inició en el 2008 y se optó por utilizar aceite de palma para la producción, ya que Colombia es el quinto país del mundo en

producción de palma. En la actualidad, el gobierno está promoviendo el cultivo de palma creando incentivos tributarios.

Colombia cuenta con siete plantas para la producción de biodiesel las cuales producen 1,2 millones de toneladas al año de aceite de palma, el 46% de esta producción se exporta principalmente a Europa.

12.12.3. Aporte de la Universidad Industrial de Santander en la elaboración del Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia.

La Unidad de Planeación Minero Energética, UPME, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Ideam, el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, Colciencias y la Universidad Industrial de Santander, UIS, se unieron en un trabajo mancomunado para la producción de una atlas que recopila una de las principales fuentes de información en cuanto a la biomasa como fuente de energía renovable, para su óptimo aprovechamiento.

Este atlas recopila información de residuos de especies vegetales y animales, residuos sólidos urbanos de 12 ciudades de Colombia, toma de muestras de biomasa, su caracterización, la estructuración de bases de datos y el diseño de modelos matemáticos del potencial energético de la biomasa. Toda esta información es de gran importancia para este sector, ya que brinda información confiable y estructurada en cuanto al sector de la energía de la biomasa en Colombia.

12.13. Aplicación de la energía de biomasa.

12.13.1. Tecnologías aplicadas.

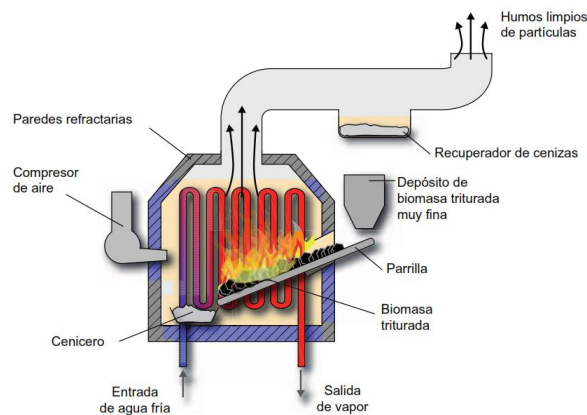
La biomasa es el recurso que presenta gran variedad en la materia ya que cuentan con distintas características que les permiten utilizarse como combustible directo o

requieran una transformación previa las cuales necesitan unas tecnologías para su aprovechamiento.

12.13.1.1. Combustión directa.

- ✓ Calderas de biomasa: Figura 217. Las calderas de vapor operan con biomasa seca las cuales tiene un grado de humedad del 15%, ya que estas nos dan rendimientos superiores al 80%, además el tamaño y la densidad influyen en el proceso y los equipos.

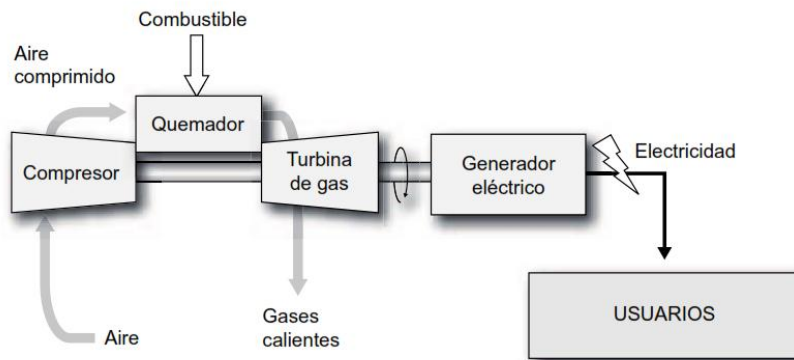
Figura 217 Caldera de biomasa



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables

- ✓ Planta de gasificadores figura 218: Para la producción de energía eléctrica las turbinas son accionadas por aire comprimido y combustible. El combustible es obtenido cuando la biomasa seca se gasifica con oxígeno y se obtiene un gas de síntesis con un poder calorífico superior al de gas gasógeno, este gas es posible convertirlo en combustible líquido como el metanol.

Figura 218 Planta de Gasificadores



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables

12.14. Ventajas de su aplicación.

El uso racional de la biomasa no contribuye al incremento del dióxido de carbono presente en la atmósfera, además los biocombustibles generan un 65% menos de CO₂.

Como los residuos agrícolas, forestales e industriales no generan óxido de azufre es posible eliminarlos mediante sistemas de limpieza y filtrado de los humos producidos. Para los residuos ganaderos, aguas residuales y otros que son sometidos a procesos anaeróbicos el restante del proceso suele ser utilizado como fertilizantes. Los biocarburantes utilizados son biodegradables.

12.15. Presente y futuro de la energía de biomasa.

En la actualidad todos los países están estudiando alternativas diferentes para la producción de energía que tenga menor impacto en el ambiente y una de esas es la biomasa.

Francia es el país que lidera en Europa el consumo de biomasa, mucha de esta se centra en sector doméstico y de servicios, Suecia obtiene el 10% de su energía de desechos forestales.

En el Reino Unido existen proyecto de fermentación de alcohol en proceso continuo, Estados Unidos genera 9 GW de energía eléctrica mediante la biomasa.

Brasil es el mayor productor de biodiesel de Suramérica y ya cuenta con más de 2 millones de automóviles funcionando con etanol

12.16. Conclusiones.

- ✓ La biomasa es la energía solar almacenada en forma indirecta en la materia. Esto se hace a través del proceso de fotosíntesis realizado por las plantas, para la producción de energía química almacenada en la materia, esta energía es transmitida a los animales. Esta energía es consumida por el hombre, pero existen muchos residuos tanto agrícolas, como animales y humanos que pueden ser aprovechados para la producción de energía mediante la conversión de esa energía almacenada.
- ✓ Existen varios procesos de transformación de la energía biomasa en energía aprovechable, tales como: combustión, gasificación, pirolisis, procesos bioquímicos, procesos anaeróbicos y aeróbicos. Todos estos procesos buscan obtener esa energía almacenada para su posterior utilización.
- ✓ Una de las principales aplicaciones de la energía de la biomasa es la obtención de combustibles de origen vegetal, los cuales tienen características similares a los combustibles obtenidos en el proceso de refinación del petróleo. Los principales biocombustibles obtenidos a partir de la biomasa es el etanol y el biodiesel.
- ✓ En Colombia existen 5 plantas para la producción de etanol y 7 plantas para la producción de biodiesel.
- ✓ Colombia tiene un gran potencial en cuanto a la energía de la biomasa, tanto en la parte agropecuaria como en la parte de residuos sólidos, también existen cultivos permanentes destinados a la producción de energía como es el cultivo de caña de azúcar, la palma de aceite, el maíz, entre otros.

- ✓ La Universidad Industrial de Santander tuvo un gran aporte en la elaboración conjunta con otras entidades del Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia. En este atlas se presenta una gran información relacionada con el potencial energético de Colombia en la biomasa residual, tanto en el sector agrícola como en el sector de los residuos sólidos urbanos, así como cálculos o modelos matemáticos para la obtención del potencial energético de la biomasa.
- ✓ La biomasa es una gran alternativa como método de producción de energía renovable, la cual es limpia y sin grandes efectos secundarios sobre el medio ambiente. Muchos países han desarrollado tecnologías para la producción de energía a partir de la biomasa, por lo cual se proyecta como una energía viable como energía alternativa.

13. ENERGÍA GEOTÉRMICA

13.1. Introducción

Al igual que otras energías renovables, la energía geotérmica es una energía limpia ya que en esta se aprovecha el calor interno de la Tierra, y no produce contaminación a gran escala como lo hacen los combustibles fósiles. Las centrales de energía geotérmica han sido implementadas en varias regiones del mundo donde se presentan grandes flujos de calor hacia la superficie de la Tierra, las cuales tienen un gran potencial de aprovechamiento, ya que la temperatura es relativamente alta para la producción de energía eléctrica. Existen otras formas de aprovechamiento de la energía geotérmica, siendo el principal para el uso doméstico, es decir, para el acondicionamiento del hogar, ya que existen regiones donde la temperatura interna de la Tierra no es tan alta como para la producción de energía eléctrica.

En Colombia el desarrollo de la energía geotérmica apenas está en sus inicios, principalmente con el proyecto de ISAGEN en el Nevado del Ruiz, y actualmente existen otras regiones de Colombia en estudio con posibles oportunidades para la energía geotérmica.

13.2. Objetivos

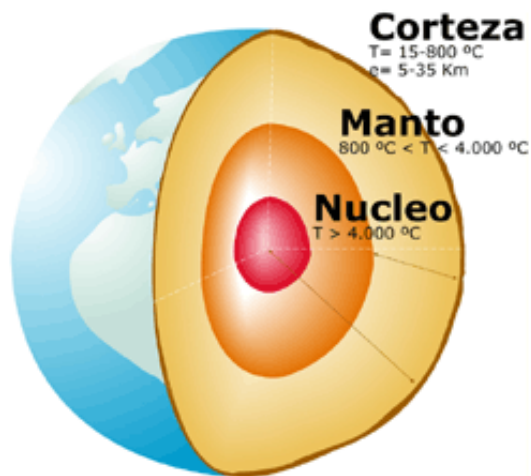
- ✓ Estudiar los conceptos de la energía geotérmica, así como el proceso de flujo de calor de la Tierra y las zonas de flujo calor anormal
- ✓ Establecer las diferencias en las formas de aprovechamiento de la energía geotérmica tanto para temperatura altas como para temperaturas bajas
- ✓ Comparar los costos de la energía geotérmica
- ✓ Determinar las ventajas y desventajas de la energía geotérmica
- ✓ Analizar los proyectos desarrollados en Colombia en cuanto a la energía geotérmica.

13.3. Definición de la energía geotérmica

La energía geotérmica es la energía debido al calor interno de la Tierra. Este calor interno de la Tierra proviene principalmente del proceso de formación del planeta en el núcleo desde sus inicios y a su vez de la descomposición de átomos radiactivos presentes en su interior. Debido a que el centro de la Tierra tiene altas temperaturas y la superficie terrestre bajas temperaturas, se tiene un gradiente ascendente de temperatura en dirección hacia la superficie de la Tierra. Se considera un tipo de energía renovable, porque la Tierra ha generado calor de forma continua y constante desde hace más de 3,500 millones de años.

En la figura 219 se presenta las diferentes capas de la Tierra. Las capas de la Tierra son básicamente tres: el núcleo, el manto y la corteza. El núcleo es la capa más interna de la Tierra la cual está compuesta por hierro fundido y tiene una temperatura superior a los 4.000 °C; el manto es la capa intermedia, formada por silicatos de hierro y magnesio y con una variación de temperatura entre los 4.000 °C y 800 °C; la corteza es la capa más superficial formada por silicatos de aluminio y magnesio con una temperatura entre 15-20 °C en la superficie terrestre.

Figura 219 Capas de la Tierra



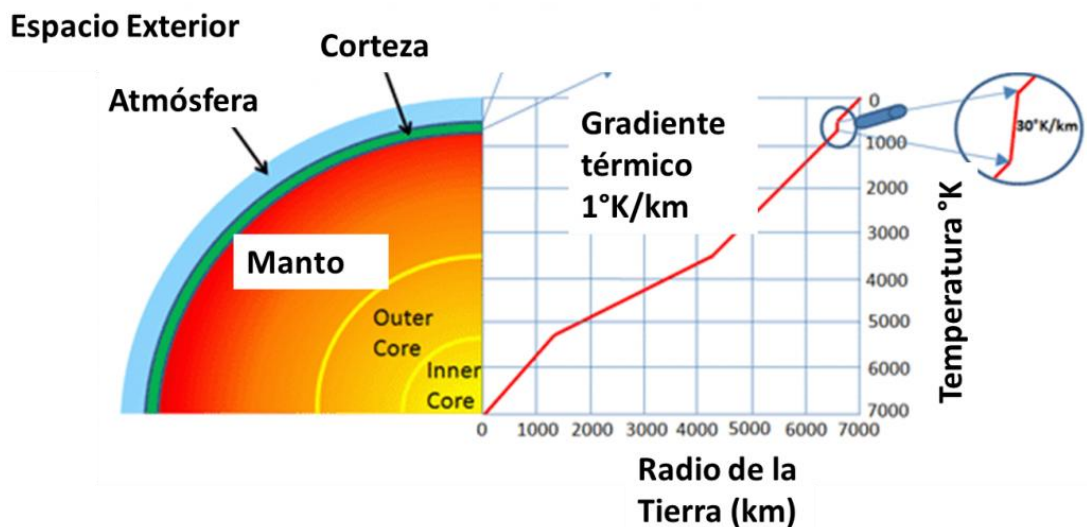
Fuente: Disponible en internet:

<<http://www.igme.es/internet/geotermia/La%20energ%EDa%20geot%E9rmica.htm>>

13.4. Gradiente térmico de la Tierra

Existe un gradiente térmico en la Tierra el cuál es generado por las diferencias de temperaturas entre el interior de la Tierra y el exterior, es decir, se establece un flujo de calor desde la temperatura más alta hacia la temperatura más baja, buscando un equilibrio termodinámico. De acuerdo a esto la energía calorífica alcanza la superficie terrestre mediante dos mecanismos: conductividad térmica y corrientes de convección. En la figura 220 se presenta el gradiente geotérmico de la Tierra.

Figura 220 Gradiente geotérmico de la Tierra



Fuente: < Disponible en internet: <http://www.artinaid.com/2013/04/energia-geotermica/>>

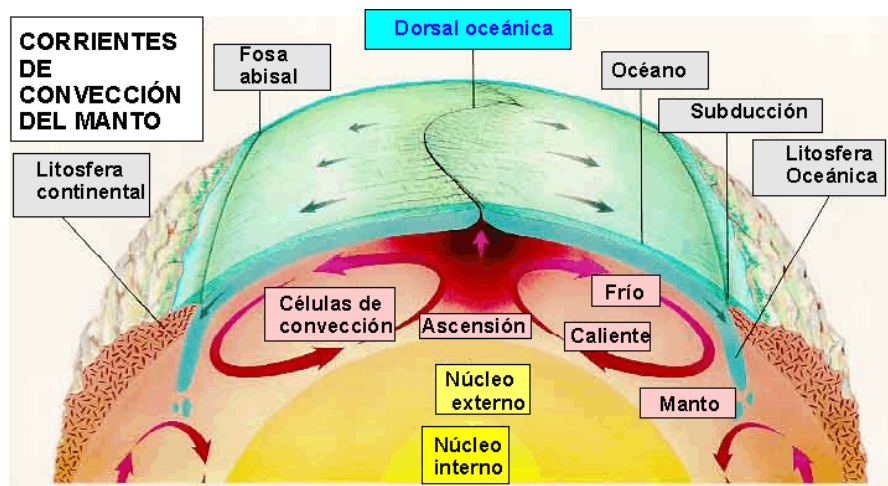
13.4.1. Conductividad térmica

Es calor se transmite de roca a roca, debido al contacto que existe entre estas. Esta transmisión de calor va desde el interior hacia la superficie. Las rocas son malas conductoras de calor, por lo tanto esta transmisión dura miles de años hasta llegar a la superficie de la Tierra

13.4.2. Corrientes de convección

Los fluidos describen movimientos mediante las corrientes de convección. Cuando un fluido se calienta, este se dilata y asciende ya que este disminuye su densidad al aumentar el volumen de las partículas, esto se produce porque el calor aumenta las vibraciones de las partículas y se produce el choque sucesivo de estas, aumentando así el volumen. Estos fluidos llegan a la superficie y son enfriados debido a que esta se encuentra a una temperatura más baja, estos se contraen, aumentando su volumen y su densidad, lo que provoca su descenso hacia el núcleo de la Tierra, desarrollándose así un ciclo. En la figura 221 se observa las corrientes de convección del manto.

Figura 221 Corrientes de convección



Fuente: Disponible en internet:

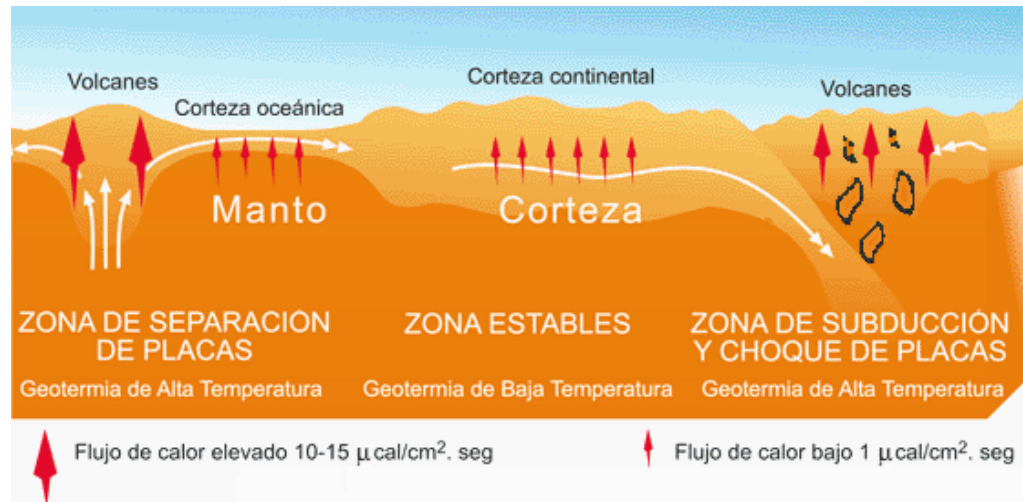
<<http://recursostic.educacion.es/ciencias/biosfera/web/alumno/2ESO/tierra/contenidos2.htm>>

13.5. Flujo de calor anormal o yacimientos geotérmicos

En muchas regiones de la Tierra se presenta un flujo de calor más elevado de lo normal, coincidiendo con zonas de fenómenos geológicos inusuales como actividades sísmicas, cordilleras y volcanes. Estas anomalías de la Tierra se

conocen como yacimientos geotérmicos, manifestándose en forma de géiseres, erupciones volcánicas, aguas termales, etc. En la figura 222 se presenta las diferentes anomalías de la corteza terrestre.

Figura 222 Flujo anormal de calor en las diferentes zonas geológicas de la Tierra



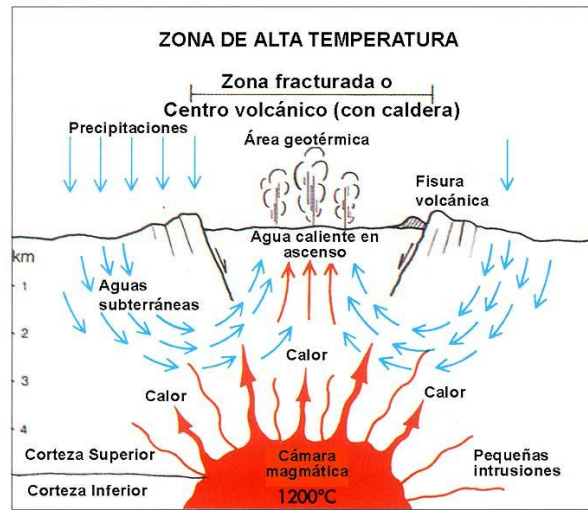
Fuente: Disponible en internet:

<<http://www.igme.es/internet/geotermia/La%20energ%EDa%20geot%E9rmica.htm>>

13.6. Formación de acuíferos y zonas hidrotermales

El agua que circula en la superficie de la Tierra debido a la lluvia y a muchos otros factores y condiciones climáticas, puede filtrarse hacia el interior de la Tierra a través de las distintas fisuras o grietas que presenta la superficie. Esta agua desciende alcanzando varios kilómetros de profundidad, circulando entre las porosidades de las rocas, produciéndose así lo que se conoce como acuíferos. En estas zonas se genera un proceso de equilibrio térmico entre la temperatura del agua y la temperatura de las rocas. Si la temperatura es muy alta, se forman las denominadas zonas hidrotermales, las cuales son fumarolas, solfatara y géiseres. En la figura 223 se presenta la formación de acuíferos y de zonas hidrotermales en una zona volcánica.

Figura 223 Formación de acuíferos y zonas hidrotermales



Fuente: Disponible en internet: <http://www.redes-cepalcala.org/ciencias1/geologia/islandia/geologia.islandia_nesjavelli.r.htm>

13.6.1. Fumarolas

Las fumarolas se presentan cerca de los volcanes y son principalmente una mezcla de gases y vapores que salen del volcán a temperaturas cercanas a los 500 °C. En la figura 224 se presenta la imagen de una fumarola en las islas Eólicas.

Figura 224 Fumarolas. Vulcano. Islas Eólicas



Fuente: Disponible en internet: <<https://www.uclm.es/profesorado/egcardenas/fuma.htm>>

13.6.2. Solfataras

Las solfataras son también una mezcla de gases pero esta se diferencia de las fumarolas ya que presentan un mayor contenido de vapor de agua, además emiten chorros intermitentes de vapor de agua y otros gases. En la figura 225 se presenta la imagen de La Solfatara de Pozzuoli en Italia.

Figura 225 Solfatara de Pozzuoli



Fuente: Disponible en internet: <<https://www.uclm.es/profesorado/egcardenas/solfa.htm>>

13.6.3. Géiseres

Los géiseres son fuentes termales los cuales son surtidores intermitentes de una mezcla de agua y vapor, con temperaturas entre 70 °C y 100 °C, y con sales en suspensión. En la figura 226 se presenta una imagen del géiser Old Faithful en el Parque Nacional de Yellowstone en Estados Unidos

Figura 226 Géiser Old Faithful, Parque Nacional de Yellowstone, Estados Unidos

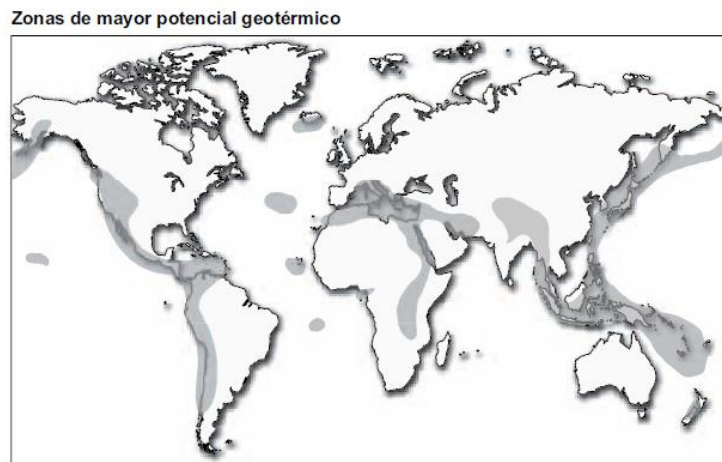


Fuente: Disponible en internet: <<http://listas.20minutos.es/lista/geiseres-los-volcanes-de-agua-313752/>>

13.7. Potencial de la energía geotérmica en el mundo

Existen muchas zonas montañosas alrededor del mundo donde la energía geotérmica puede ser aprovechada. En estas regiones se encuentran muchas regiones con actividad volcánica y con muchos yacimientos hidrotermales. En América se destaca la cordillera de los Andes y las cordilleras de Estados Unidos, Canadá y Alaska. Se estima que la energía geotérmica supone unos 30 millones de Tera-vatios. Sin embargo, solo es aprovechable una pequeña parte. En la figura 227 se muestra las zonas de mayor potencial geotérmico alrededor del mundo.

Figura 227 Potencial de la energía geotérmica en el mundo



Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables.
[533].

13.8. Formas de Aprovechamiento de la energía geotérmica

Como todas las fuentes de energía que producen calor, el principal aprovechamiento es mediante la generación de vapor de agua, para un posterior accionamiento de una turbina, que adaptada a un generador producirá energía eléctrica. Sin embargo, cuando se trata de yacimientos que disponen de fluidos a bajas temperaturas, los cuales son los más abundantes, el calor suele explotarse directamente, sin conversión a otro tipo de energía. En estos casos, el calor puede

utilizarse directamente en balneoterapia, agricultura, acuicultura, industria y residencias.

De acuerdo al tipo de temperatura de la zona geotérmica, está es caracterizada mediante un concepto termodinámico llamado entalpía, la cual es la cantidad de energía de un sistema termodinámico que éste puede intercambiar con su entorno, y que de acuerdo a la temperatura tiene diferentes aplicaciones en la energía Geotérmica. La figura 228 muestra los principales tipos de yacimientos y los usos de la energía geotérmica de acuerdo al rango de temperatura, clasificados en yacimientos de muy baja entalpía, baja entalpía, media entalpía y alta entalpía.

Figura 228 Clasificación de los yacimientos geotérmicos y sus usos principales

| Clasificación por Entalpía | | | |
|----------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------------|
| Tipo Yacimiento | Tipo de Terreno | Rango de Temperatura | Uso Principal |
| Muy Baja Entalpía | Subsuelo con o sin agua | 5°C<T<25°C | Climatización |
| | Aguas Subterráneas | 10°C<T<22°C | |
| Baja Entalpía | Aguas Termales | 22°C<T<50°C | Balnearios |
| | Zonas Volcánicas | T<100°C | Calor de Distrito |
| | Sedimentos Profundos | | |
| Media Entalpía | | 100°C<T<150°C | Electricidad, Ciclos Binarios |
| Alta Entalpía | | T>150°C | Electricidad |

Fuente: Disponible en internet: <<http://www.energias.bienescomunes.org/2012/06/26/que-es-la-energia-geotermica/>>

En general, los procesos empleados en la transformación dependen del nivel térmico del fluido. Los de alta temperatura ($T > 150\text{ °C}$) se emplean para la producción directa de electricidad; los de media temperatura ($100\text{ °C} < T < 150\text{ °C}$) se pueden emplear para producir electricidad mediante el uso de ciclos binarios, que hoy en día presentan todavía rendimientos termodinámicos muy bajos, siendo su mejor utilización la aplicación en procesos industriales; y, por último, los de baja temperatura ($T < 100\text{ °C}$) se emplean en usos directo del calor, como calefacción de viviendas, procesos industriales, usos agrícolas, y cuando la temperatura es muy

baja (20-30 °C), se emplea para el agua caliente sanitaria y aire acondicionado con el empleo de la bomba de calor.

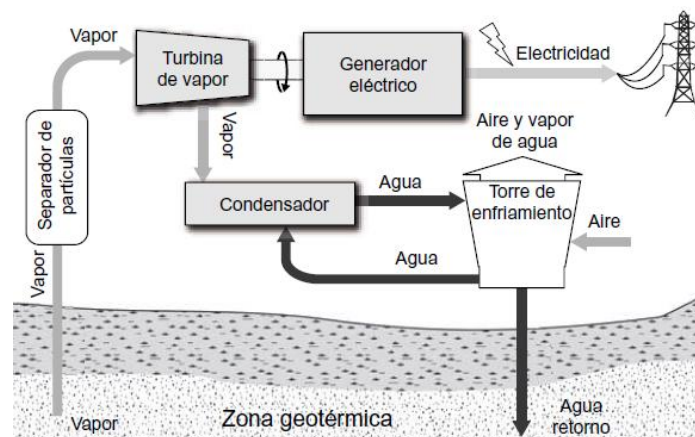
13.8.1. Aprovechamiento de la energía geotérmica a altas temperaturas

Existen dos tipos principales de aprovechamiento de la energía geotérmica a altas temperaturas: Los sistemas de conversión directa y los sistemas de ciclo binario.

13.8.1.1. Sistemas de conversión directa

Los sistemas de conversión directa se emplean en yacimientos donde el vapor seco es el predominante. En este proceso, el vapor que se encuentra en un rango de temperaturas entre los 180°C y 185°C, el cual es separado de las partículas sólidas y de los demás gases, y es llevado para el accionamiento de una turbina la cual está adaptada a un generador para la producción de energía eléctrica. Posteriormente el vapor es dirigido a un condensador donde se convierte en agua líquida saturada. El agua que allí se obtiene es transportada a una torre de enfriamiento; una fracción del agua que se ha enfriado en la torre se envía al condensador para que sirva de fluido refrigerante y, el resto, se inyecta de nuevo en el acuífero. En la figura 229 se muestra el sistema de conversión directa.

Figura 229 Sistema de conversión directa

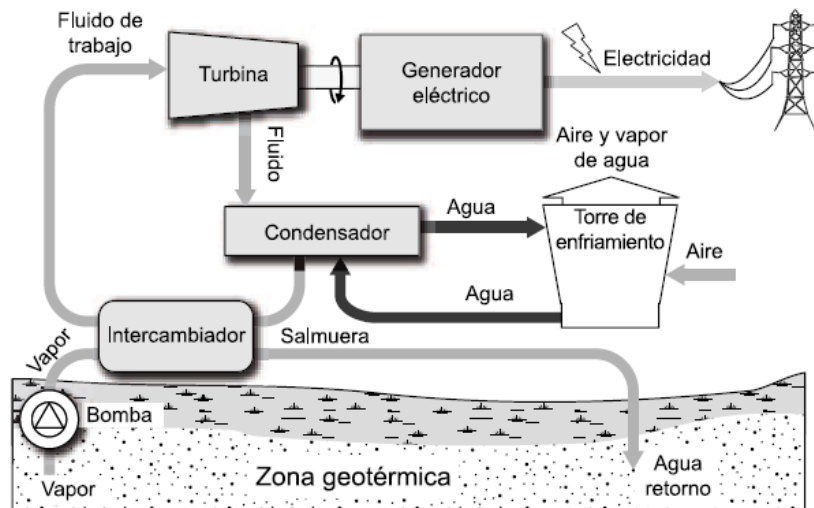


Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables. [539].

13.8.1.2. Sistemas de ciclo binario

En los sistemas de ciclo binario se utilizan dos tipos de fluido. El fluido extraído de la zona geotérmica cede su calor mediante un intercambiador de calor al fluido secundario, para su posterior retorno al yacimiento. El fluido secundario realiza el ciclo convencional Rankine, este es transformado en vapor recalentado debido al calor cedido en el intercambiador de calor y es transportado para el accionamiento de una turbina, la cual está acoplada a un generador eléctrico. Posteriormente el fluido secundario es llevado a un condensador para que realice de nuevo el ciclo a su paso por el intercambiador de calor. El condensador es refrigerado con agua mediante una torre de enfriamiento. En la figura 230 se observa el sistema de ciclo binario.

Figura 230 Sistema de ciclo binario



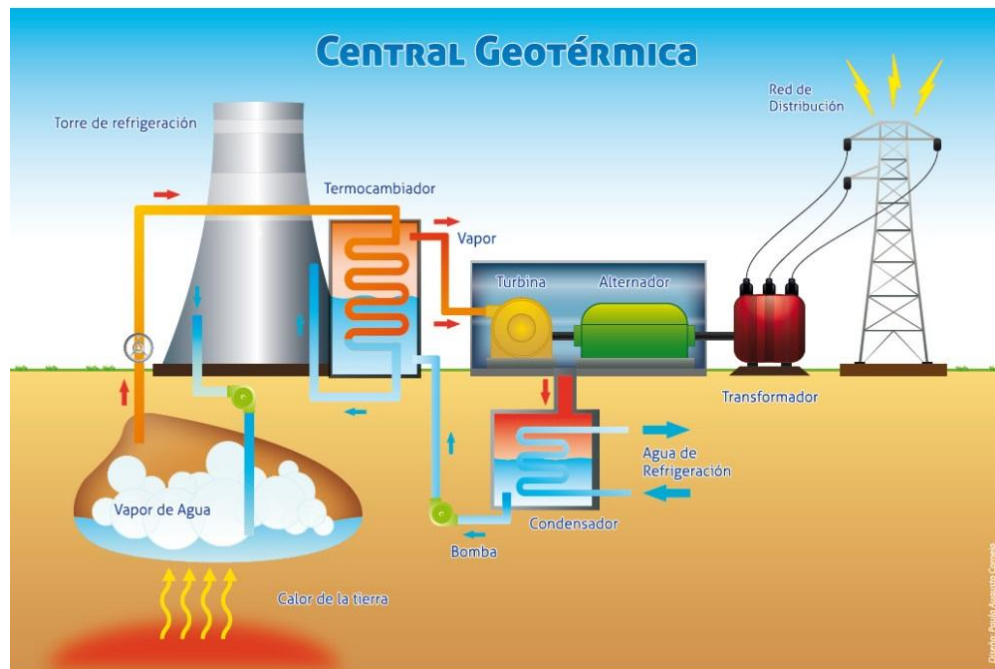
Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables.

[542].

En la figura 231 se presenta una imagen de lo que es en general un central de energía geotérmica de ciclo binario. En esta se pueden apreciar los dos fluidos así

como la turbina, el generador eléctrico y el transporte de la energía eléctrica hacia la red.

Figura 231 Central geotérmica de ciclo binario



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.foroconsultivo.org.mx/home/index.php/comunicacion-social/cti-al-instante/1912-crearan-centro-virtual-de-investigacion-en-energia-geotermica>>

13.8.2. Aprovechamiento de la energía geotérmica a bajas temperaturas

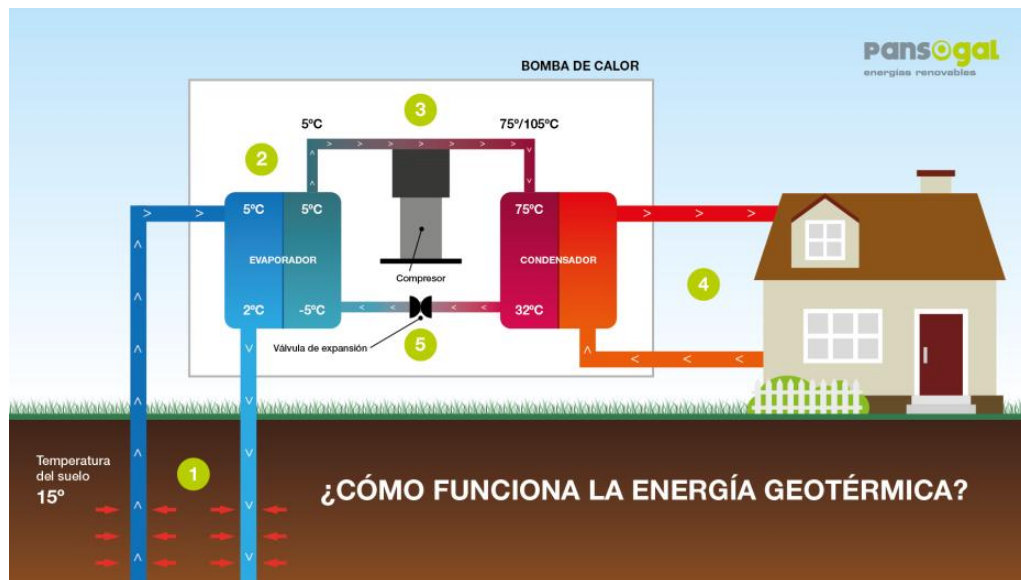
En estos sistemas el calor es aprovechado directamente sin la necesidad de una conversión de energía. Este tipo de aplicaciones pueden ser balnearios, agricultura, acuicultura, calefacción doméstica, usos industriales, etc.

Un sistema de aprovechamiento de energía geotérmica a bajas temperaturas está compuesto por un circuito exterior a la vivienda o edificación a aclimatar, un circuito en el interior y una bomba de calor que conecta a ambos circuitos. El tipo de circuito exterior en la captación de la energía geotérmica puede ser de varios tipos: horizontales, verticales y mixtos (combinación de los dos anteriores).

13.8.2.1. Bomba de calor

La bomba de calor es un dispositivo de función reversible, es decir, es utilizada tanto para invierno como en verano. En invierno, la bomba de calor toma calor del subsuelo para distribuirlo a la vivienda, en cambio en verano cambio de sentido su función, toma calor de la vivienda y lo lleva hacia el subsuelo. En la figura 232 se muestra el funcionamiento de la bomba de calor para la climatización de una vivienda.

Figura 232 Funcionamiento de la bomba de calor

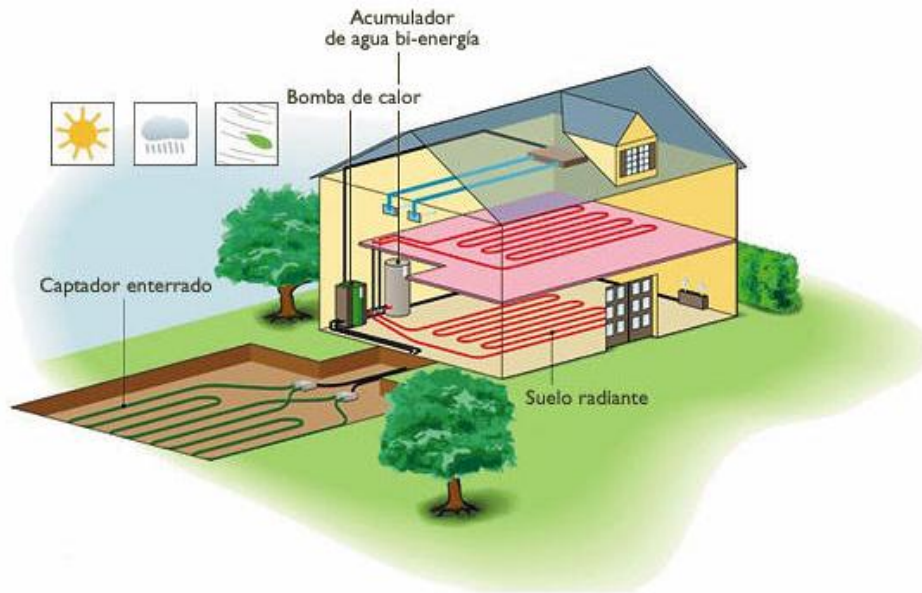


Fuente: Disponible en internet: <<http://pansogal.com/actividad/energia-geotermia-galicia/>>

13.8.2.2. Captador horizontal

Un captador horizontal es un circuito de tubo de polietileno reticulado, por el que circula el fluido, colocado bajo tierra en el fondo de una zanja o destierre (de 60/80 cm profundidad hasta 2 m). Según las condiciones climáticas, una superficie exterior entre el 100% y el 150% de la superficie a calentar. En la figura 233 se observa un captador horizontal de energía geotérmica, en él se encuentran tanto el circuito exterior como interior y la bomba de calor.

Figura 233 Captador horizontal

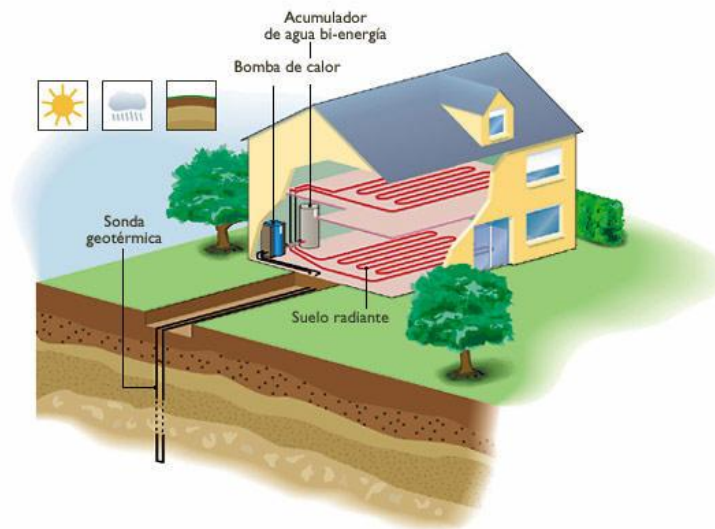


Fuente: Disponible en internet: <<http://www.prosener.com/geotermia>>

13.8.2.3. Captador vertical

El captador vertical se utiliza cuando la superficie exterior disponible es insuficiente, entonces se procede a captar en profundidad. El captador vertical está formado por una o varias sondas hundidas verticalmente en la tierra a la profundidad que estime necesaria, entre 50 y 150 metros, que finalmente acaban conformando un circuito cerrado unido a la bomba de calor. En la figura 234 se presenta un captador vertical con los circuitos, tanto exterior como interior, y la bomba de calor.

Figura 234 Captador vertical



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.prosener.com/geotermia>>

13.9. Costos de la energía geotérmica

Los costes de la generación de la energía eléctrica a partir de la energía geotérmica dependen de los costos del terreno, de los costos de las perforaciones, de los costos de las instalaciones, de los costos de operación y mantenimiento, de la cantidad de energía generada y del valor de mercado de la energía.

En promedio los costos de capital de una planta geotérmica de generación eléctrica se encuentran en el rango de **1.150 euros a 3.000 euros por kW instalado**, dependiendo de las temperaturas y composición del yacimiento y de la tecnología empleada. Normalmente la vida de las plantas geotérmicas está entre 30 y 45 años, y la recuperación de la inversión se estima para que sea a 15 años. En la Tabla 8 se muestran algunos costos de capital de plantas geotérmicas y **están dadas en euros por kW instalado**.

Tabla 8 Costos de capital de una planta geotérmica

| Tamaño de la planta | Coste | Recursos de alta calidad (€) | Recursos de calidad media (€) |
|----------------------------|--------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Plantas pequeñas (< 5 MW) | Exploración | 400 - 800 | 400 - 1.000 |
| | Vapor | 100 - 200 | 300 - 600 |
| | Planta de potencia | 1.100 - 1.300 | 1.100 - 1.400 |
| | Total | 1.600 - 2.300 | 1.800 - 3.000 |
| Plantas medias (5 - 30 MW) | Exploración | 250 - 400 | 250 - 600 |
| | Vapor | 200 - 500 | 400 - 700 |
| | Planta de potencia | 850 - 1.200 | 950 - 1.200 |
| | Total | 1.300 - 2.100 | 1.600 - 2.500 |
| Plantas grandes (> 30 MW) | Exploración | 100 - 400 | 100 - 400 |
| | Vapor | 300 - 450 | 400 - 700 |
| | Planta de potencia | 750 - 1.100 | 850 - 1.100 |
| | Total | 1.150 - 1.750 | 1.350 - 2.200 |

Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables. [548].

En la Tabla 9 se muestra una comparación de los costos de la energía geotérmica con otras fuentes de energía. Esta tabla también está dada **en euros por kW instalado**.

Tabla 9 Comparación de la energía geotérmica con otras fuentes de energía

| Recurso | Coste de capital (€) |
|------------|----------------------|
| Geotérmica | 1.150 - 3.000 |
| Hidráulica | 735 - 4.778 |
| Carbón | 1.070 - 1.410 |
| Nuclear | 1.500 - 4.000 |

Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables. [549].

13.10. Ventajas y desventajas de la energía geotérmica

En la energía geotérmica existen muchas ventajas y pocas desventajas ya que es una energía renovable, esto implica que es una energía limpia y que deja pocos residuos en la naturaleza.

13.10.1. Ventajas de la energía geotérmica

- ✓ Es una fuente de energía renovable e inagotable.
- ✓ Su aprovechamiento es constante las 24 horas al día durante los 365 días del año sin verse afectada ni por los cambios estacionales ni por las condiciones climáticas del exterior.
- ✓ No necesita suministros externos ni mantenimientos costosos.
- ✓ Se trata de un sistema de gran ahorro, tanto económico como energético.
- ✓ Supone una reducción del 70% con respecto al costo de la energía eléctrica para climatización.
- ✓ Las instalaciones geotérmicas tienen una vida útil superior a los 50 años.
- ✓ Para producir energía geotérmica no se produce ningún tipo de combustión por lo que se trata de un sistema más seguro.
- ✓ Los residuos que producen son mínimos y ocasionan menor impacto ambiental que los originados por el petróleo y el carbón.
- ✓ Permite una reducción de las emisiones al entorno de NO y SO₂ y de las de CO₂ en torno a un 80%.
- ✓ Su utilización elimina el impacto visual de la instalación en la arquitectura y el diseño final de las edificaciones.

13.10.2. Desventajas de la energía geotérmica

- ✓ Ligera contaminación térmica en circuitos abiertos de aguas freáticas
- ✓ No puede transportarse como energía primaria.
- ✓ Se presenta un impacto ambiental en la fase de exploración, perforación y construcción. La construcción de caminos de acceso puede ocasionar la

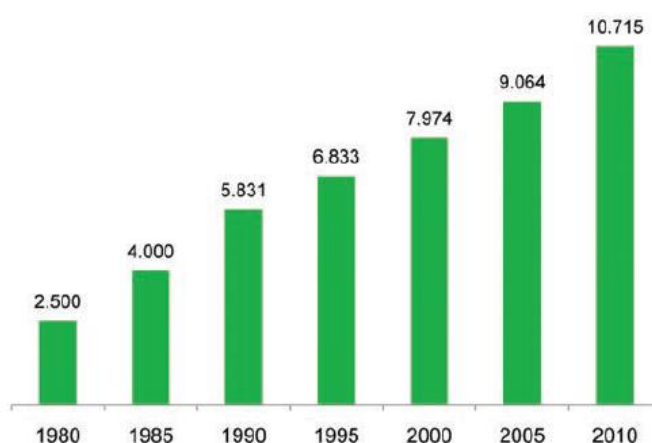
destrucción de bosques o áreas naturales, mientras que la perforación de pozos y la construcción de la planta pueden producir perturbaciones en el ecosistema: ruidos, polvos, humos y posible erosión del suelo.

- ✓ Se puede aumentar la frecuencia de pequeños terremotos en la zona de explotación.

13.11. Energía geotérmica en el mundo

El desarrollo de la energía geotérmica ha aumentado considerablemente en los últimos años. Desde 1980 la energía geotérmica en el mundo ha crecido un 5,5% anualmente llegando a una capacidad instalada de 10715 MW en el año 2010. En la figura 235 se muestra el crecimiento de la energía geotérmica en el mundo en MW.

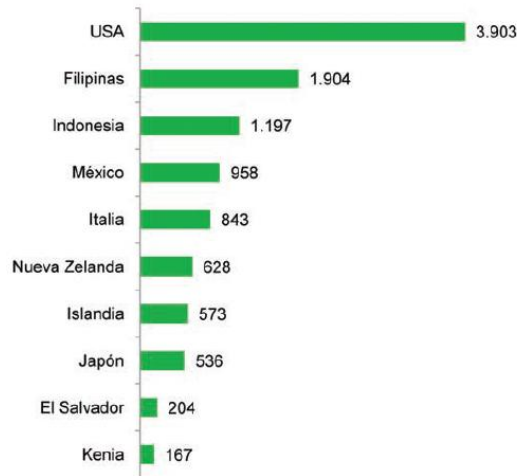
Figura 235 Crecimiento de la capacidad de energía geotérmica instalada en el mundo en MW.



Fuente: Informe Geotermia 2011. Asociación Cluster da Xeotermia Galega - acluxega

En cuanto a los países que lideran el desarrollo de la energía geotérmica se destaca Estados Unidos con el 36,5% de la capacidad instalada en el mundo. El segundo país en desarrollar esta energía es Filipinas con el 17,7% y le sigue Indonesia con el 11% de la capacidad instalada. En la figura 236 se presenta el ranking de los países con mayor instalación de energía geotérmica en el mundo.

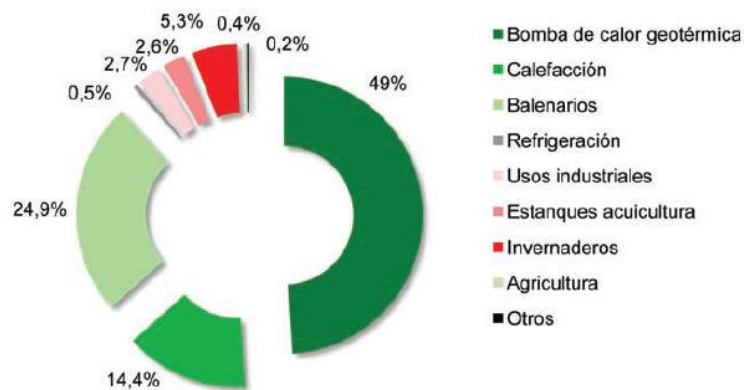
Figura 236 Ranking de países según capacidad geotérmica instalada 2010



Fuente: Informe Geotermia 2011. Asociación Cluster da Xeotermia Galega - acluxega

La energía geotérmica tiene distintas aplicaciones, entre las que se cuentan la producción de electricidad, calefacción y refrigeración de viviendas, usos agrícolas y acuícolas, termalismo o aplicaciones en procesos industriales. En la actualidad, más de 68% de la energía procedente de los recursos geotérmicos en el mundo se emplea para calefacción. Figura 237.

Figura 237 Aplicaciones de uso directo de la geotermia en el mundo



Fuente: Informe Geotermia 2011. Asociación Cluster da Xeotermia Galega - acluxega

13.11.1. Algunas plantas geotérmicas en el mundo

✓ Raft River geothermal power plant

Raft River, en Idaho, es una de las 12 plantas de ciclo binario de los Estados Unidos de América y fue la primera planta geotérmica de este tipo en el mundo con una producción de 13 MW. En la figura 238 se observa la planta Raft River en los Estados Unidos.

Figura 238 Raft River geothermal power plant



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.powermag.com/raft-river-geothermal-project-malta-idaho/?pagenum=2>>

✓ Islandia – Nesjavellir

Nesjavellir en Islandia, genera electricidad y da calefacción, para un total de 120 MW. Islandia se encuentra sobre la dorsal mesoatlántica, una fisura en la corteza terrestre que permite que el magma se eleve muy cerca y a veces por encima de la superficie. Debido a que es una de las plantas geotérmica más grandes del mundo, Nesjavellir atrae a más de 15000 turistas cada año. En la figura 239 se observa la planta geotérmica de Nesjavellir en Islandia.

Figura 239 Planta geotérmica de Nesjavellir, Islandia



Fuente: Disponible en internet:

<http://www.redescepalcala.org/ciencias1/geologia/islandia/geologia.islandia_nesjavellir>

Olkaria II es la planta geotérmica más grande de África, esta da energía a Nairobi y al pueblo de Olkaria. Se realizan perforaciones para extraer agua caliente y vapor que se encuentran a grandes profundidades en el Gran Valle del Rift en África, para una generación de 150 MW. La planta, dirigida por la Kenya Electricity Generating Company (compañía generadora de electricidad de Kenya), fue financiada en parte por el Banco Mundial. En la figura 240 se presenta la planta geotérmica de Okaria II en Kenya.

Figura 240 Planta geotérmica de Okaria II en Kenya



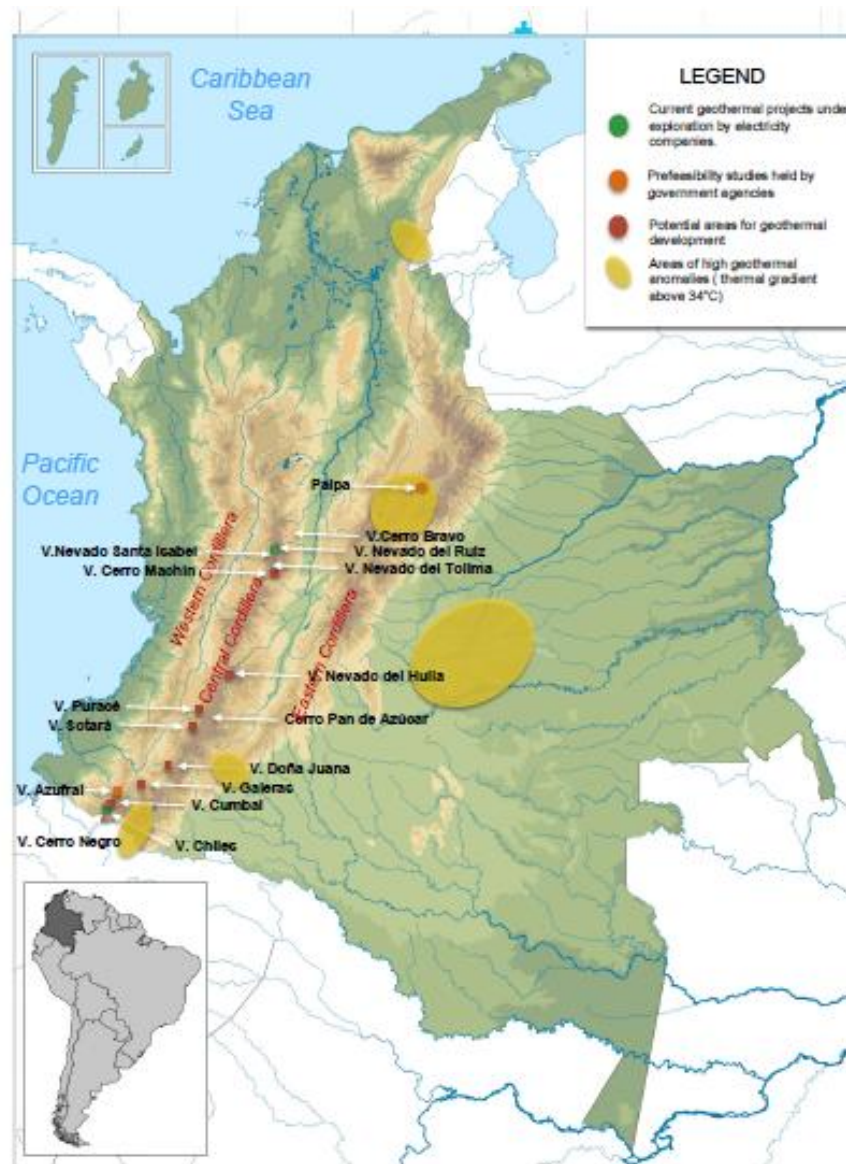
Fuente: Disponible en internet: <<http://www.industcards.com/geo-africa.htm>>

13.12. Energía geotérmica en Colombia

Colombia tiene un gran potencial en cuanto a la energía geotérmica. Colombia cuenta con 13 volcanes activos con temperaturas altas para implementar proyectos

de energía geotérmica en estas zonas. Los gobiernos de Colombia y Ecuador gestionan un proyecto fronterizo que beneficiaría a estos dos países; este está enfocado en tres volcanes: Chiles, Tufiño y Cerro Negro, el cual generaría aproximadamente 150 MW de energía limpia. En la figura 241 se presenta un mapa de las zonas geotérmicas potencialmente aprovechables en Colombia.

Figura 241 Zonas geotérmicas potencialmente aprovechables en Colombia



Fuente: Geothermal Development in Colombia. ISAGEN S.A. ESP. Eliana Mejía, Lorena Rayo, Javier Méndez y Julián Echeverri.

13.1. Proyecto geotérmico en el Nevado del Ruiz

Actualmente el principalmente proyecto de energía geotérmica en Colombia se está realizando en el Nevado del Ruiz, y está en exploración bajo entidades como La Universidad Nacional de Colombia, Ingeominas, Isagen y Colciencias. Este proyecto busca aprovechar el valioso recurso natural de la energía geotérmica. La fase de exploración incluye la perforación de cinco pozos con profundidades de entre dos y tres kilómetros. Si el proyecto es viable, el siguiente paso sería la construcción de una planta de generación de energía eléctrica, operada por la compañía Isagen. En la tabla 10 se muestra el estado actual de los proyectos geotérmicos en Colombia, entre los cuales están: el proyecto del Nevado del Ruiz, el proyecto Binacional en los volcanes Chiles, Tufiño y Cerro Negro, y otros proyectos en investigación como el de Paipa, el volcán Azufral y San Diego Mar.

Tabla 10 Estado de los actuales proyectos geotérmicos en Colombia.

| Project | Estimated Capacity | Current Status | Inversion (USD) |
|--|--------------------|--|-----------------|
| Macizo Volcánico Nevado del Ruiz | 50 MW | Prefeasibility studies is finished. EIA in approbation, by National Environmental Agency Licenses. ISAGEN. 3 TGW perforated 2011-2012. | 6 Million |
| Binational Project: Chiles-Tufiño-Cerro Negro | 138 MW | Prefeasibility studies in progress. ISAGEN-CELEC. | 4 Million |
| Paipa | N.D. | Prefeasibility studies. SGC. | N.D. |
| Azufral Volcano | N.D. | Prefeasibility studies. SGC. | N.D. |
| San Diego Maar | N.D. | Prefeasibility studies. SGC. | N.D. |

Fuente: Geothermal Development in Colombia. ISAGEN S.A. ESP. Eliana Mejía, Lorena Rayo, Javier Méndez y Julián Echeverri.

13.13. Conclusiones

- ✓ La energía geotérmica es una energía renovable, la cual tiene su origen en el calor interno de la Tierra bajo las altas temperaturas y presiones que se encuentran en las capas internas de la Tierra, como lo son el núcleo, el manto y la corteza superficial.
- ✓ Esta energía llega a la superficie mediante varios mecanismos de transmisión de calor, como la conducción de calor a través de las rocas y corrientes de convección.
- ✓ Esta energía geotérmica depende de la temperatura de calor, clasificándose en energía aprovechable a altas temperaturas, principalmente para la generación de energía eléctrica, y energía aprovechable a bajas temperaturas, utilizada fundamentalmente para el acondicionamiento de viviendas.
- ✓ La generación de energía eléctrica a partir de la energía geotérmica en Colombia está en sus fases de inicio. El principal proyecto de energía geotérmica en Colombia es el que se está llevando a cabo en el Nevado del Ruiz bajo entidades como La Universidad Nacional de Colombia, Ingeominas, Isagen y Colciencias. Existe un proyecto binacional gestionado por los gobiernos de Colombia y Ecuador, y además existen otros proyectos de investigación en varias zonas geográficas con potencial geotérmico.

14. ENERGÍA MAREOMOTRIZ Y ENERGÍA MAREMOTÉRMICA

14.1. Introducción.

Las corrientes de los océanos, que son la causa que el mar fluya, estos se dan principalmente por la bajada y subida de las mareas, las cuales son la consecuencia de la interacción gravitacional entre la luna, la tierra y el Sol. Además hay otros efectos, como las diferencias de temperaturas locales, las diferencias de salinidad y efectos de las fuerzas de Coriolis, que son causadas por la rotación de la Tierra, que es un factor importante.

Para aprovechar este tipo de energía de las mareas hay dos métodos diferentes de extraer. Uno de ellos es la utilización de la energía potencial del agua que se almacena en un estuario (donde se separa del mar abierto mediante la construcción de un dique para usarlo como depósito de almacenamiento) durante la pleamar. El otro método para aprovechar esta energía de las mareas consiste en la utilización de la energía cinética de las corrientes marinas, de manera similar a cuando una turbina eólica extrae la energía del viento. Para esto, se utilizan turbinas sumergidas en el mar, que estas convierten la energía cinética del agua en energía mecánica de rotación en un eje, que está conectado a un generador eléctrico donde se produce la electricidad.

14.2. Objetivos

- ✓ Conocer aspectos básicos respecto del origen de estos dos tipos de fuente energética renovable y su gran potencial como lo es la mareomotriz y Mareomotérmica.
- ✓ Explicar los diferentes ciclos de trabajo y efectos de las centrales mareomotrices de los estuarios.
- ✓ Señalar algunos conceptos de la energía utilizable con el método de extracción con turbina de corriente.

- ✓ Tener nociones de las tecnologías que usan para el aprovechamiento con su mejor potencial para este tipo de energías con su obstáculo de los costos.
- ✓ Resaltar los efectos positivos y negativos que las instalaciones de aprovechamiento de la energía Mareomotérmica como la mareomotriz tienen sobre el medioambiente.
- ✓ Dar a conocer que tanto potencial y que se ha trabajado aquí en Colombia sobre esta energía.

14.3. Origen de la energía mareomotriz.

La energía mareomotriz es una de las cuales no es tan conocida pero si está muy presente en el mundo desde hace décadas, El origen de esta energía mareomotriz hay que regresar al siglo XVIII donde ya se utilizaba para triturar el grano como el caso del molino de Isla Cristina en Huelva, que se puede ir a visitar y que forma parte del parque Natural de las Marismas de Isla Cristina. Desde ese momento y hasta mediados del siglo XX la evolución de esta energía sostenible ha sido lenta pero constante con el pasar de los años.

La energía mareomotriz se debido a las fuerzas gravitatorias entre la Luna, la Tierra y el Sol, que dan origen a las mareas y crean una diferencia de altura media de los mares según la posición relativa entre estos tres astros.

Esta diferencia de alturas se puede aprovechar en lugares estratégicos como golfos, bahías y otros. Utilizando turbinas hidráulicas que se atraviesan o se interponen en el movimiento natural de las aguas, junto con mecanismos de canalización y depósito, para así obtener un buen movimiento en el eje. Mediante su acoplamiento a un alternador se puede utilizar este sistema para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica, una forma energética más aprovechable y útil.

La energía mareomotriz es un tipo de energía renovable en tanto que la fuente de energía primaria no se agota por su explotación, y es limpia, ya que en la transformación energética no se producen subproductos contaminantes durante la fase de explotación. Pero esto no quiere decir que la relación entre la cantidad de energía que se puede obtener con los medios actuales y el coste económico y el impacto ambiental de instalar los dispositivos para su proceso han impedido una proliferación notable de este tipo de energía o decir que está libre de contaminación.

Otra manera de extraer la energía del mar es mediante la energía undimotriz, que es la energía producida por el movimiento de las olas; y la energía porque hay

un gradiente térmico oceánico que se presenta por diferentes causas, que hace una diferencia de temperaturas entre la superficie y las aguas profundas del océano.

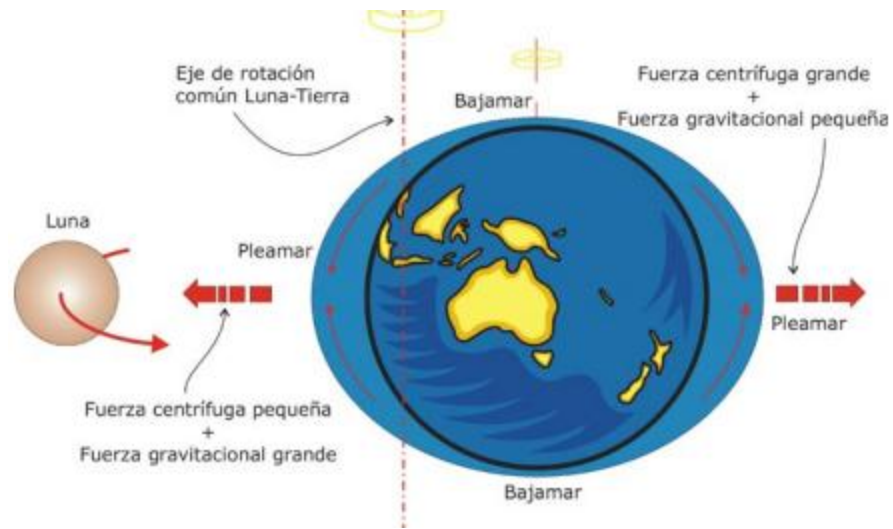
Por los movimientos de rotación de la Tierra alrededor de su eje y de la Luna alrededor de la Tierra, se encuentran mareas causadas tanto por el Sol como por la Luna.

En la Figura 242 se muestra un primer esquema, donde se puede observar únicamente el efecto de la atracción gravitacional entre la Luna y la Tierra y el efecto de las fuerzas centrífugas. Ya que la atracción gravitatoria de una u otro forma depende de las masas de los cuerpos y de la distancia que hay entre ambos, la Luna, por estar más cerca de la Tierra que el Sol, influye mucho más en la generación de las mareas que éste.

Las masas de agua están expuestas, además, la fuerza centrífuga que se presenta como resultado del movimiento de rotación de la Tierra. El nivel de marea que se produce es el resultado de la combinación de estas dos fuerzas la centrífuga y gravitatoria.

El segundo proceso, es el efecto gravitacional de atracción de la Luna, que produce en los mares de la cara de la Tierra más cercana a la Luna una protuberancia (pleamar), mientras que los mares que están más lejos de la Luna experimentan una atracción lunar menor que la media.

Figura 242 Origen de las mareas

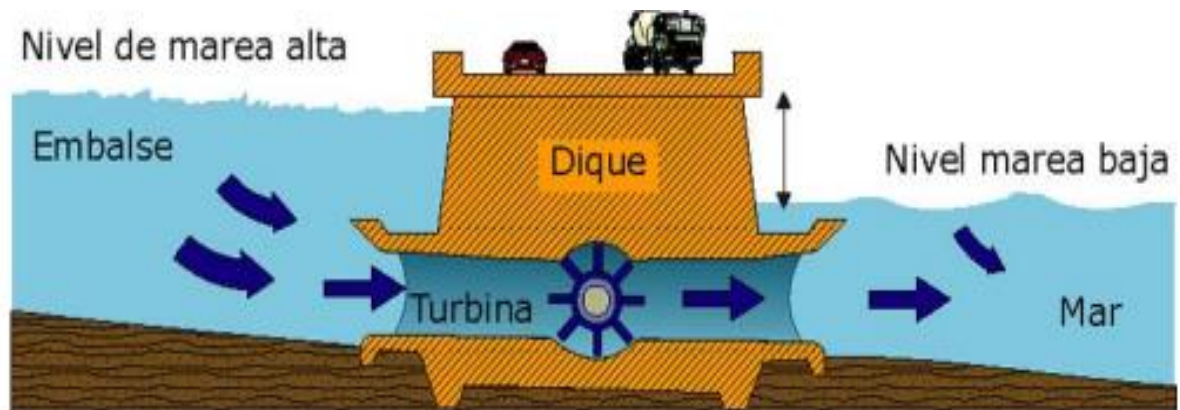


Fuente: Centrales de Energías Renovables: Generación Eléctrica con Energías Renovables [617]

La amplitud que existe en las mareas, marca, la diferencia entre el nivel más alto (pleamar) con el más bajo (bajamar), tiende a ser pequeña en medio del océano, pero este puede alcanzar en determinados puntos del globo terráqueo, como lo es la Bahía de Fundy (Canadá), hasta 20 metros. Esta amplitud de las mareas da paso a que el agua de los mares contenga energía cinética. Esta energía es denominada mareomotriz, se puede utilizar de dos maneras.

Una manera es mediante la construcción de diques que cierran una bahía para conseguir recoger y almacenar el agua cuando la marea esta alta o sube. El agua marina se retiene mediante compuertas hasta la bajamar (marea baja) y se libera en las horas intermareales para que así la energía potencial originada por el desnivel mar-dique, pueda accionar las turbinas que están acopladas a un generador eléctrico por ente producir electricidad (Figura 243).

Figura 243 Esquema conceptual de una forma de aprovechamiento de las mareas



Fuente: Centrales de Energías Renovables: Generación Eléctrica con Energías Renovables [621]

14.4. Potencial de la energía de las mareas.

Las mareas se presentan en todas costas del mundo, su origen está dado por el cambio de la atracción gravitacional que se produce en esos puntos, al estar la masa de la luna alineada o no con la enorme masa solar. Las mareas altas se producen en luna nueva y luna llena (máxima y mínima atracción lunar) y las menores, denominadas mareas muertas, cuando la luna está desalineada con el sol en cuarto menguante o cuarto creciente.

Éste fenómeno físico es común para las todas las costas del mundo, hay lugares donde la amplitud de las mareas alcanza unos niveles extraordinarios (como en Canadá, Bay of Fundy que tiene el récord con 18 m seguido de la Bahía Severn en Bristol, Inglaterra que tiene 15 m, La Rance en Francia 14 m, Angelmó en Chile 9 m y por utlimo Santa Clara, Golfo de California, en México, 7 m). Para estos casos que son pocos se combinan otros aspectos más bien hidráulicos, que hacen que la marea "normal" se amplifique de una forma significativa. Son varios los factores que intervienen, pero sin embargo los más importantes son la fricción del lecho marino y la resonancia hidráulica.

La potencia aproximada que se podría obtener de las mareas se estima del orden de 3 TW. Sin embargo, para poder obtener todo este potencial de la energía mareomotriz es necesario que la amplitud de las mareas sea por lo menos de cinco metros y que haya una bahía apropiada para la recogida y almacenamiento del agua en las pleamareas. Además, la potencia que hay en las costas se reduce a valores del orden de 1 TW, ya que, teniendo en cuenta las pequeñas amplitudes de las mareas en comparación con los saltos de los aprovechamientos hidroeléctricos, es indispensable que existan grandes volúmenes de agua y, por tanto, se precisan grandes desarrollos en las anchuras de los diques.

Estas condiciones se reúnen en muy pocos lugares en el mundo (Figura 244), por esto se estima que la potencia mareomotriz económicamente viable, teniendo en cuenta que el rendimiento de las centrales no superará el 25%, por lo tanto se cifra alrededor de los 15 GW.

Figura 244 Lugares del mundo con recursos mareomotrices



Fuente: Centrales de Energías Renovables: Generación Eléctrica con Energías Renovables [623]

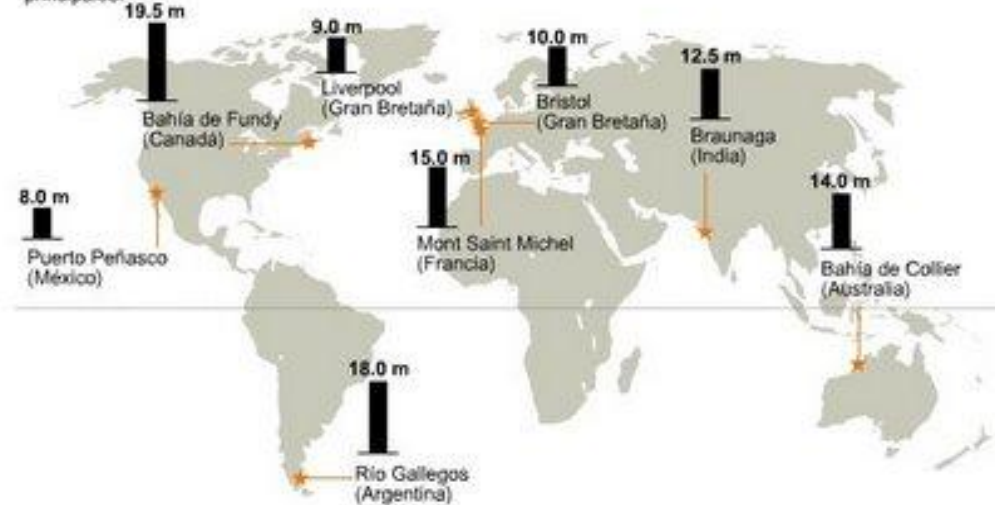
La planta de energía mareomotriz de mareas que existe y la más grande presente en el mundo está en Corea del Sur, es la central llamada Sihwa Lake, de 254MW de potencia y que fue construida recientemente en el año 2011. En la desembocadura del río Rance, pero en Francia se encuentra la central mareomotriz más grande de Europa, esta entro en funcionamiento desde 1967, con una potencia de 240MW y es aquella que alimenta las necesidades energéticas de al menos 10.000 hogares de la región francesa de Bretaña.

Hay otras centrales mareomotrices uno de ellas la de Annapolis Royal con un potencial aproximadamente de 18 MW en el estado canadiense de Nueva Escocia, también existen algunos proyectos que están en la fase de estudio como la bahía de Fundy, en Canadá, donde hay hasta 21 metros de diferencia de marea, pero aquí se presentan aumentos del nivel del mar (entre 0,20 a 1m) los cuales estos podrían causar inundaciones en las costas de Maine, los proyectos se han dejado atrás. También en el estuario del río Severn, en el Reino Unido, se presentó un proyecto similar que fue finalmente rechazado por problemas similares. (Figura 245).

En España el encargado de estudiar la energía mareomotriz bajo el cargo del Instituto de Hidráulica de la Universidad de Cantabria que dispone de un gran Tanque de pruebas para la investigación y experimentación de ingeniería marina llamado el “Cantabrian Coastal and Ocean Basin” el cual tiene 44 metros de anchura y 30 metros de longitud y que puede simular olas hasta de 20 metros y vientos de 150km/h los cuales son realmente altos.

Figura 245 Centrales mareomotrices en el mundo

La instalación de una central mareomotriz es sólo posible en lugares con una diferencia de al menos 5 metros entre la marea alta y la baja . Hay pocos puntos en el globo donde ocurre este fenómeno. Estos son los principales:



Fuente: Disponible en internet: <http://tecnologia-cardones.wikispaces.com/4>

14.4.1. Medida de las mareas.

Para poder medir los niveles de las mareas con la necesidad de estimar su potencial primero se debe tener en cuenta que el océano está sometido a diferentes fuerzas, como lo son las gravitatorias de los astros, los vientos predominantes, la densidad variable de las masas de agua, etc. también, se debe tener en cuenta que el nivel del mar varía en distintos océanos, es más alto en la costa del océano Pacífico que en la del Atlántico, esto se debe a la menor densidad del agua del Pacífico, e influye en la intensidad de las mareas.

Aunque medir las mareas pueden llevarse mediante una forma muy simple, por ejemplo, utilizando una regla graduada en un lugar poco profundo de la costa, ya hoy en día hay métodos de mayor precisión, y se han construido dispositivos de medición llamados mareógrafos (Figura 246), los cuales se pueden colocar dentro de los buques oceanográficos o las boyas para registrar estos datos de los cambios de marea.

Figura 246 Mareógrafo



Fuente: Disponible en internet: <http://www.epsiplatform.eu/content/spain-sun-sea-and-beach-data-re-use>

Medir las mareas permite calcular su frecuencia y magnitud, con lo cual se pueden realizar estimaciones de su comportamiento. Hasta hace unos pocos años, los aparatos para predecir las mareas eran mecánicos; ahora se usan computadoras electrónicas que hacen el trabajo de manera más rápida, eficaz y eficiente y se programan para que impriman automáticamente las tablas de marea.

14.5. Métodos de extracción de energía de mareas.

14.5.1. Energía utilizable con un estuario con dique.

Hoy en día Existen varios tipos de instalaciones para convertir la energía mareomotriz en energía eléctrica. Usando el principio de conversión de esta energía consiste en tener una diferencia de niveles de agua oceánica a ambos lados de un dique que encierra un área oceánica. Dicha diferencia de niveles causa una diferencia de presiones de agua dentro y fuera del dique, y bajo esta diferencia de presiones los chorros de agua que pasan a través del dique hacen rotar sistemas hidroturbinas-generadores produciendo de esta forma energía eléctrica.

Para esta forma de producción de energía eléctrica se encuentra una desventaja cardinal: la cual es que la energía eléctrica generada no es constante, sino cíclicamente conforme a los ciclos de mareas. Lo anterior significa que hay unos periodos alternantes donde no hay generación de energía eléctrica con un periodo igual al periodo de mareas oceánicas (aproximadamente de 6 h), que en la práctica causa serias incomodidades al usar la energía eléctrica obtenida por este principio tradicional.

Una nueva forma de transformar energía mareomotriz en energía eléctrica que aún no se ha realizado en la práctica ingenieril para generar energía eléctrica constantemente en cualquier escala. Consiste en una múltiple (doble) conversión de energía: primero la energía cíclica de mareas se convierten en la energía potencial de agua oceánica almacenada en un depósito presentando una diferencia de altura con respecto al nivel del océano, y después la energía potencial de agua oceánica se convierte constantemente en energía eléctrica. La primera fase (cíclica) de esta conversión de la energía mareomotriz que se transforma en energía potencial de agua oceánica, está dada mediante plantas especiales mareomotrices de bombeo vertical, la segunda fase (que es continua) de conversión de la energía potencial en energía eléctrica se realiza mediante una estación hidroeléctrica estándar la cual dicha agua oceánica pasa por las turbinas de la central y se dirige al océano.

Para obtener información de la energía potencial natural de un estuario en un año de duración, $E_{nat}/año$, se debe tener en cuenta el histograma de las mareas que actúan en aquel estuario. La energía potencial de un estuario es proporcional al cuadrado del rango de las mareas, por tanto se puede utilizar la raíz cuadrática media del rango de las mareas durante un año de duración, H_{rms} , para calcular $E_{nat}/año$ en Wh.

El número total de ciclos de mareas por año sería de 705,5. por esto, la cantidad de energía natural disipada por año en un estuario está dada por la siguiente ecuación; donde V es el volumen del almacenamiento del estuario en m³.

$$E_{\text{nat/año}} = 705,5 \rho g V H_{\text{rms}} / 3.600$$

Sustituyendo los valores de la densidad del agua o (aproximadamente 1.000 kg/m³) y de la aceleración de la gravedad g (9,81 m/s²), se obtiene lo siguiente:

$$E_{\text{nat/año}} = 705,5 \rho g V H_{\text{rms}} / 3.600 \approx 2.000 V H_{\text{rms}}$$

14.5.2. Energía utilizable con una turbina de corrientes.

Las turbinas para aprovechar las corrientes que se forman por las mareas tienen un aspecto semejante al de las turbinas eólicas. Por ende, la potencia que se utiliza con una turbina de mareas puede estimarse por la ecuación que se encuentra más adelante, donde ρ es la densidad del agua, A es el área barrida por el rotor de la turbina y V es la velocidad de la corriente de agua.

Como el agua es 800 veces más densa respecto al aire, no se requieren las altas velocidades del viento que se dan en las turbinas eólicas para obtener una relativamente alta densidad de energía. Para una corriente marina de 2 m/s se podría obtenerse una densidad de 4.000 W/m². Sin embargo, se necesitaría una velocidad de viento aproximadamente de 18,7 m/s para obtener la misma densidad.

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

14.6. Tecnologías para aprovechar la energía mareomotriz.

14.6.1. Evolución histórica.

El uso de las mareas como fuente de energía se ha dado hace varios siglos. Los ribereños de los ríos costeros observaban las corrientes las cuales hacían girar las ruedas de sus molinos, que se construían a lo largo de las orillas de algunos ríos del oeste de Francia (Figura 247) y otros países en los cuales las mareas vivas son de cierta intensidad.

Figura 247 Molino de mareas en la isla de Brehat (Francia)



Fuente: Centrales de Energías Renovables: Generación Eléctrica con Energías Renovables [626]

Esta energía de los mares era utilizada por el hombre de diferentes formas, por ejemplo, se utilizaba para mover ruedas hidráulicas, lo que se conoce desde el principio de la historia de la humanidad, que sirven para irrigar los campos o para la molienda de los cereales, como las ruedas hidráulicas utilizadas para moler especias, en Chelsea, Massachusetts, donde la máxima amplitud de marea genera alrededor de 50 caballos de fuerza, o para fabricar hielo, como la de Ploumanach, que en 1898 producía 450 kilogramos diarios.

Aún se encuentran algunos de estos molinos en las costas normandas y bretonas francesas. Los avances tecnológicos provocaron el abandono de estas sencillas máquinas de bajo rendimiento. Bernard Forest de Belidor (1698-1761), ingeniero civil y profesor en la escuela de Artillería de La Fe`re (Francia), fue el primero que estudió el problema de la utilización de la energía cinética de las mareas, y previó un sistema que permitía un funcionamiento continuo de esta energía, utilizando para esto dos cuencas o receptáculos conjugados. Las teorías expuestas por Belidor en su Tratado de arquitectura hidráulica (1727) no se aplicaron en su época, sin embargo, la idea de aprovechar la enorme energía de las mareas no fue completamente abandonada, ya que cuando los avances tecnológicos fueron suficientes se retomó el estudio del aprovechamiento de las centrales mareomotrices.

En el verano del año 1966 se colocó en marcha la primera planta de explotación, a gran escala, de la energía mareomotriz del mundo. Esta planta se ubica en el río La Rance (Figura 248), en el noroeste de Francia. Las mareas que se presentan en este lugar oscilan entre 3 m y 13.5 m, teniendo la marea de 13.5 m una probabilidad de que vuelva a ocurrir una vez cada 28 años lo cual es un dato a no tener en cuenta y si la altura que con mayor frecuencia se presenta.

Una presa de 750 m de longitud separa el estuario del mar abierto y crea una cuenca de 22 km², la cual se almacena aproximadamente 184 millones de m³ de agua. Tiene una esclusa para la navegación y está equipada con 24 turbinas tipo Kaplan de bulbo reversibles, las cuales tienen un diámetro de 5,35 m. Cada una de las turbinas está conectada directamente a un generador eléctrico con nivel de potencia nominal de 10 MW, proporcionando a la planta una potencia total nominal de 240 MW.

Figura 248 Central mareomotriz Rance (Francia)



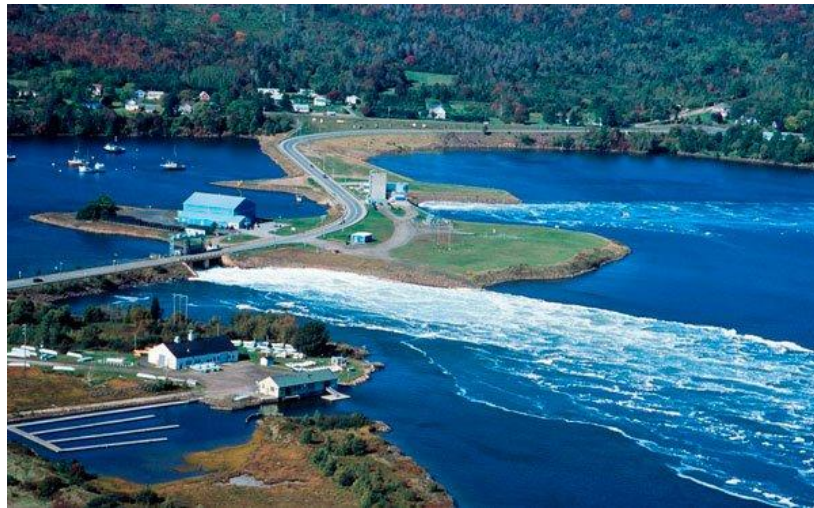
Fuente: Disponible en internet: <<http://www.fierasdelaingenieria.com/>>

El sistema se diseñó para poder generar potencia en un ciclo de doble efecto con acumulación por bombeo. Pero se presentaron algunos problemas mecánicos que originaron en julio de 1975 se simplificase el modo operandi, permitiendo únicamente la generación directa, sin bombeo. La disponibilidad típica de la planta ha sido en la mayoría de los años de su funcionamiento superior al 90% y la energía neta producida ha sido aproximadamente de 480 GWh por año, con significativas ganancias debidas al bombeo.

En Rusia se tiene un notable potencial mareomotriz (el estimado podría alcanzar una capacidad instalada de 157 GW), especialmente en el mar Blanco en la costa Ártica y en el mar de Okhotsk. Para esto se propuso diversos proyectos para explotación de la energía mareomotriz en la bahía de Lumbovsky (360 MW), en la bahía de Mezen (10 GW), en la bahía de Augur (9 GW), en la bahía de Penzhinsk (100 GW) y en otros lugares con características similares, desde 1930. por otra parte se encuentra un prototipo de pequeña potencia (8 MW) que fue puesto en funcionamiento en agosto de 1968 en la bahía de Kislaya, (antigua URSS).

Desde 1919 ha existido algún interés por parte de los Estados Unidos y Canadá por explotar la energía mareomotriz en la frontera de ambos países, en la bahía de Fundy, en el río Annapolis. Sin embargo, hasta el año 1984 se construye la central mareomotriz de Annapolis en la provincia de Nueva Escocia (costa atlántica de Canadá) (Figura 249).

Figura 249 Central mareomotriz Annapolis (Canadá)



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.fierasdelaingenieria.com/>>

14.6.2. Sistemas de aprovechamiento de la energía Mareomotriz.

Los sistemas para aprovechar la energía de las mareas se pueden clasificarse en dos formas o tipos. Uno es el sistema que utilizan estuarios y diques para construir depósitos de almacenamiento de agua con el propósito que toda la energía potencial de las mareas se aproveche y el otro sistema es aquel que captura la energía cinética de las corrientes marinas originadas por las mareas.

10.6.2.1. Tecnología de estuarios y diques.

Son aquellos Diques que se construyen en estuarios adecuados, los cuales se diseñan para extraer energía de la subida y bajada de las mareas utilizando turbinas localizadas en conductos que atraviesan los diques. La energía potencial se da por

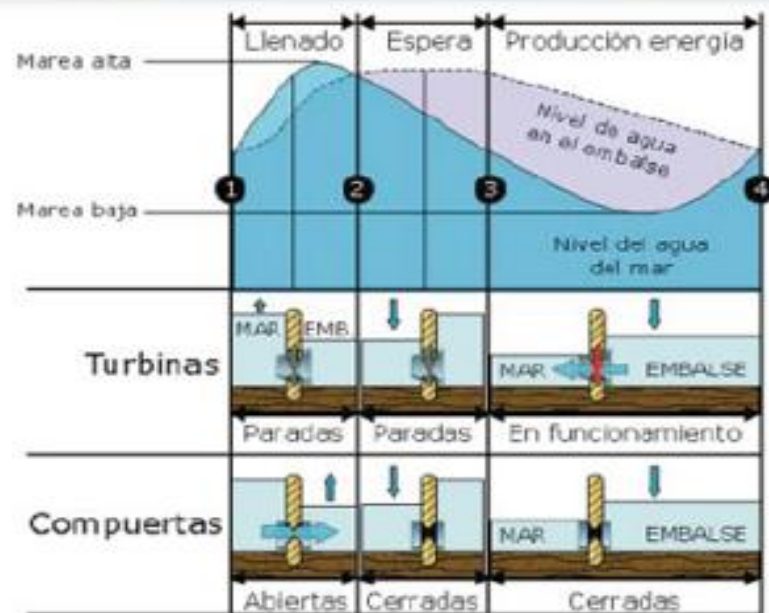
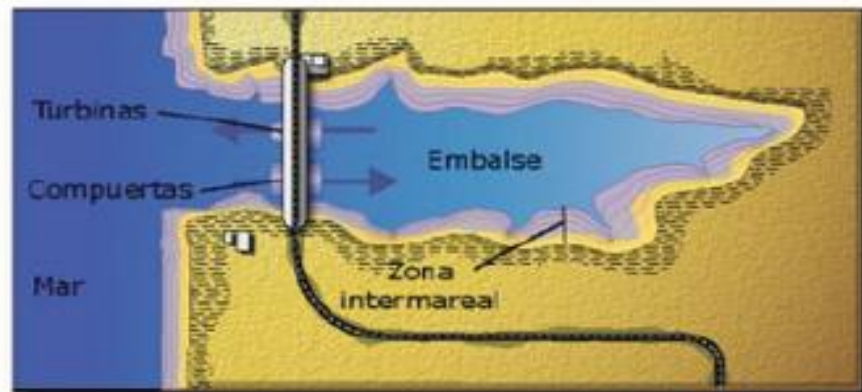
la diferencia del nivel del agua en los diques, esta se convierte en energía cinética debido al rápido movimiento del agua al pasar a través de las turbinas.

Las palas o álabes de las turbinas, al girar, me convierten la energía cinética del agua en mecánica de rotación, la cual está permite accionar un generador para producir electricidad para luego su respectivo uso.

Aparte de los puntos de localización y orientación de los diques, existe un segundo conjunto de factores que influyen en su potencial de energético generado por estos sistemas. A su vez están relacionados con la forma de su funcionamiento.

Una central mareomotriz se diseña para tener un modo operandi de varias formas, las cuales dependen del número de ciclos y del sentido de las mareas. Cuando la instalación se diseña para aprovechar la energía únicamente en la etapa de vaciado de un estuario (durante la bajamar), se dice que ésta ópera en un ciclo elemental de simple efecto (Figura 250). Esta manera de operar limita la energía eléctrica generada, ya que solo se aprovecha el flujo de agua en un solo sentido: del estuario al mar. Por lo tanto, solamente se aprovechan los dos períodos diarios en que se vacía el estuario. Es decir, entre tres y seis horas, como mucho, en cada ciclo.

Figura 250 Esquema conceptual de una central mareomotriz de ciclo elemental de simple efecto



- 1 Paro de las turbinas y apertura de las compuertas
- 2 Cierre de las compuertas
- 3 Puesta en marcha de las turbinas
- 4 Paro de las turbinas y apertura de las compuertas

Fuente: Disponible en internet:

<<http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo23f.pdf>>

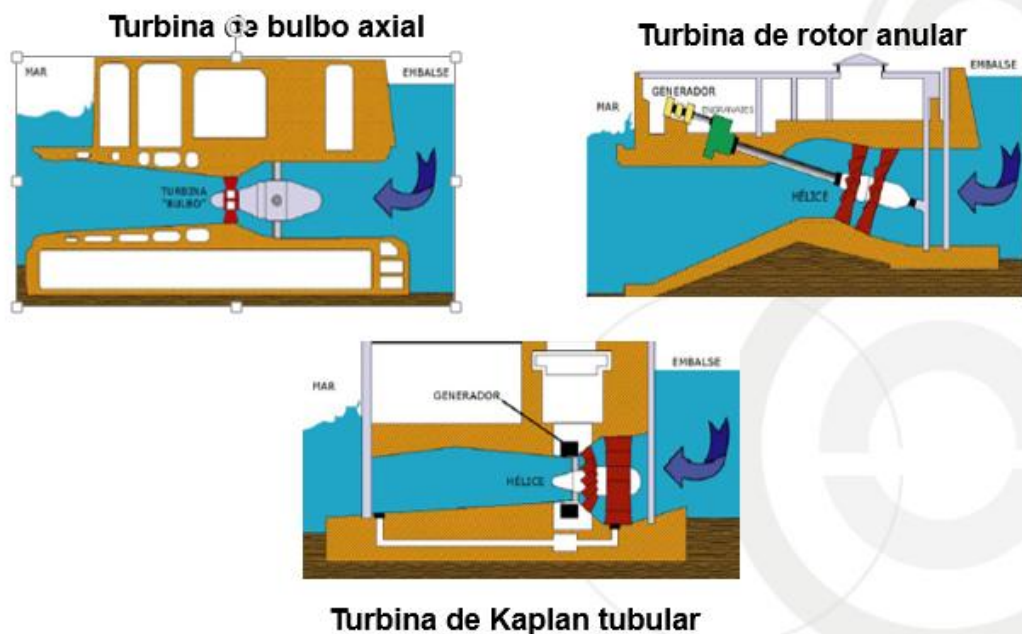
Cualquiera que sea la configuración que se escoja para una central mareomotriz, los componentes básicos siempre va a hacer los mismos como lo es las turbinas,

diques, compuertas, generadores eléctricos, subsistema de control e infraestructura de transporte de la energía eléctrica generada.

Como se presentan distintas características en cada una de las centrales mareomotrices, esta mayoría de saltos son relativamente pequeños, por esto las turbinas que más se adaptan o más adecuadas son las de hélice de flujo axial y de alta velocidad.

los Tres tipos de turbinas que son más apropiados para las características dadas son la turbina de bulbo axial, la cual se instala junto con el generador eléctrico en un habitáculo en forma de bulbo situado en el conducto de paso del agua; la turbina Kaplan tubular, la cual se conecta al generador que se encuentra en el exterior del conducto de flujo del agua; y la turbina de rotor anular, la cual lleva integrado el generador eléctrico alrededor del rodete de sus álabes, así ambos forman una unidad compacta (Figura 251).

Figura 251 Tipo de turbinas utilizadas



Fuente: Disponible en internet: <<http://comunidad.eduambiental.org/>>

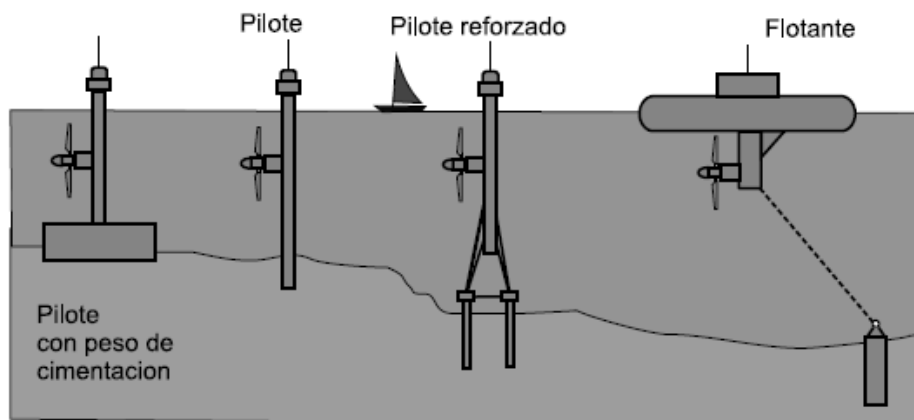
14.6.2.2. Tecnología de turbinas de corrientes marinas.

Hay la posibilidad de aprovechar las corrientes de marea, por los movimientos horizontales del agua que se dan a lo largo de las costas, estuarios, bahías, ríos, etc., estos son producidos por las subidas y bajadas de estas mareas. Estas corrientes de superficie pueden intensificarse debido a los efectos de concentración en los canales estrechos.

Para poder utilizar la energía cinética de este tipo de corrientes se han diseñado varios dispositivos simples, parecidos a los rotores de las turbinas eólicas, que se sumergen en el mar a unas profundidades comprendidas entre 20 y 30 metros.

También Se han propuesto turbinas de eje horizontal, o turbinas de hélice, que comprende un rotor con dos o más palas. Dicha turbina puede ser montada en una torre que se fija al lecho marino o puede unirse a un soporte flotante (Figura 252). Asimismo se han propuestos turbinas de eje vertical con rotores de flujo cruzado.

Figura 252. Algunos sistemas de sustentación de turbinas de eje vertical



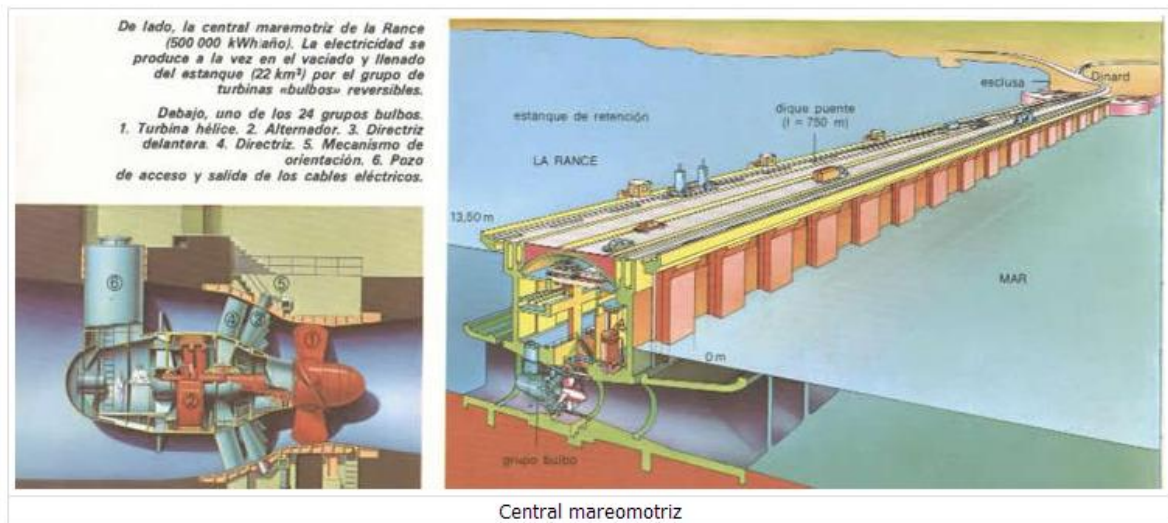
Fuente: Centrales de Energías Renovables: Generación Eléctrica con Energías Renovables [639]

✓ Centrales mareomotrices

La función de una central mareomotriz consiste en llenar un embalse durante la marea alta y poder expulsar toda esa agua durante la marea baja. La energía eléctrica se produce por el paso de agua en las turbinas que están instaladas en los conductos que se utilizan para su llenado como su respectivo vaciado del embalse donde se está trabajando. Cuando la marea esta alta se llena el embalse. Cuando esta baja se cierra el embalse durante algunas horas para así obtener una adecuada diferencia de nivel entre el embalse y el mar abierto. Ya al abrir las compuertas el agua pasa por las turbinas que generan la energía eléctrica. Figura 253.

Nosotros Podemos encontrar una cierta semejanza con las centrales hidroeléctricas, donde se utiliza una diferencia de presiones para conseguir energía, aunque en ésta se utilizan más los ríos que el mar.

Figura 253 Central mareomotriz



Fuente: Disponible en internet: <<http://manuelage4b.wikispaces.com/centrales+mareomotrices>>

14.7. Diferentes dispositivos de generación de energía mareomotriz.

✓ Mighty Whale

Desde el año 1987, se está desarrollando un dispositivo flotante conocido como Mighty Whale, donde sus aplicaciones se proyectan para un uso como el suministro de energía para Granjas de peces en las aguas calmas detrás de los dispositivos, y la aireación y purificación del Agua de mar.

Las dimensiones del prototipo son 50 m de largo, por 30 m de ancho y 12 m de Profundidad. Este dispositivo se diseñó para poder flotar en equilibrio aproximadamente a 8 m. En el Mighty Whale figura 254 se genera electricidad cuando la ola entra a las 3 cámaras que tiene de aire y ubicadas en la parte Delantera del dispositivo.

Ya colocado en el mar la superficie interna del agua se mueve hacia arriba y abajo generando una presión neumática, lo que hace girar las turbinas de aire, esto hace que los generadores conectados a las turbinas generen electricidad a una razón máxima de 110 KW.

Figura 254 Mighty Whale



Fuente: Disponible en internet: <<http://ingenieriaenlared.wordpress.com/>>

✓ Anaconda

Este dispositivo está hecho de goma y se coloca en la superficie marina para generar energía a partir de las olas del mar. Se podría decir que la maquinaria funciona como una arteria humana, haciendo circular la masa líquida a lo largo de su interior hasta alcanzar una turbina posicionada en su cola, la cual es la encargada de generar la energía final.

En contra a los complejos mecanismos que se utilizan actualmente, la anaconda figura 255 gana no sólo en simplicidad, sino que también en su resistencia, al estar hecha de goma no es tan vulnerable al mar y está diseñada para tener una larga duración o tiempo de vida.

Actualmente dicha máquina está operando en calidad de prototipo, esta mide nueve metros y funciona de forma óptima, y sus creadores afirman que se podría construir anacondas marinas de hasta doscientos metros si la demanda así lo requiere.

Figura 255 Anaconda



Fuente: Disponible en internet: <<http://ingenieriaenlared.wordpress.com/>>

✓ Blue Energy Ocean Turbina

Esta tiene un tipo de construcción parecida a las toberas convergentes-divergentes, lo que le permite acelerar la corriente y optimizar el rendimiento, Este tipo de generadores tiene una ventaja de ser estructuras flotantes y que se conserva y no presenta alteraciones en la parte eléctrica accesible para el mantenimiento. Además tienen una gran versatilidad en su instalación, al punto de poderse instalar en ríos, mediante fondeo cerca de la costa o formando barreras que pegadas a la costa suponen una buena solución para el problema de llevar la electricidad a tierra. Figura 256.

Se encuentran varios generadores pequeños que son prototipo que proporcionan un potencial de 250 KW, aunque un construcción en forma de Barrera de mareas podría generar, acoplando varios de estos dispositivos potencias de 7 a 14 MW.

Figura 256 Blue Energy Ocean Turbina



Fuente: Disponible en internet: <<http://ingenieriaenlared.wordpress.com/>>

14.8. Energía mareomotriz dinámica.

La energía mareomotriz dinámica (Dynamic Tidal Power o DTP) es un tipo de tecnología teórica que explota la relación que existe entre las energías cinética y potencial en las corrientes de marea. Se propone que las presas muy largas (De 30 a 50 km de longitud) se debe construir desde las costas hacia afuera en el mar o el

océano, sin encerrar un área. La presa debe tener diferencias de fase de mareas, lo que lleva a una diferencia de nivel de agua importante (al menos 2.3 metros) en aguas marinas ribereñas poco profundas con corrientes de mareas que oscilan paralelas a la costa, como las que encontramos en el Reino Unido, China y Corea Del Sur. Cada una representa una generación de energía en una escala de 6 a 17 GW.

Esta central mareomotriz alcanza a trabajar de 6 a 7 horas por marea y de 2 a 3 horas de tiempo entre cada marea, por lo tanto trabaja alrededor de 12 y 14 horas diarias de producción de energía eléctrica.

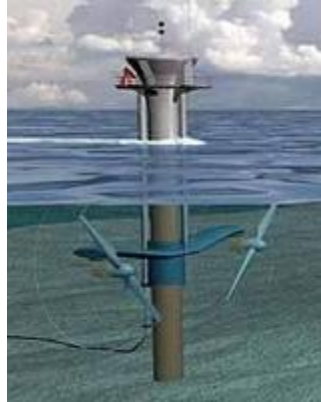
Para conseguir que una central mareomotriz sea rentable la diferencia de amplitud de la marea debe ser al menos de 5 metros. El rendimiento de una central mareomotriz depende de la amplitud de la marea, de la superficie del embalse y de la longitud del dique.

14.9. Tecnologías utilizadas en las centrales.

14.9.1. Turbinas Se pueden subdividir en dos tipologías.

- ✓ Turbinas axiales Horizontales: estas turbinas tienen generadores muy similares a los eólicos, pero en este caso son sumergidos en agua, sus dimensiones son menores (diámetro de 20m vs 60m) además requiere de velocidades de giro más bajas. Figura 257.

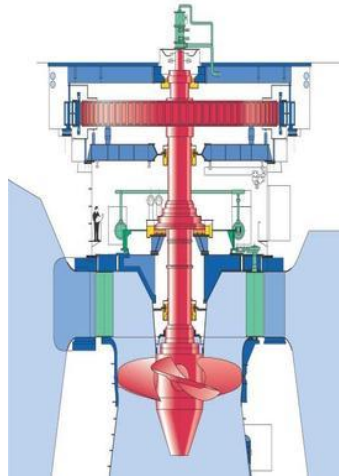
Figura 257 Turbinas axiales horizontales



Fuente: Disponible en internet: <<http://www.apie.com.ar/Boletines/boletin-05/energia%20del%20mar.html>>

- ✓ Turbinas axiales verticales: las turbinas axiales verticales figura 258 de igual manera hacen girar un generador eléctrico. La ventaja de estas es que se pueden apilar estas turbinas y construir barreras de turbinas para generar mayores potencias. El detalle es que esta tiene un problema, alterar la biodiversidad y dificulta el paso de embarcaciones.

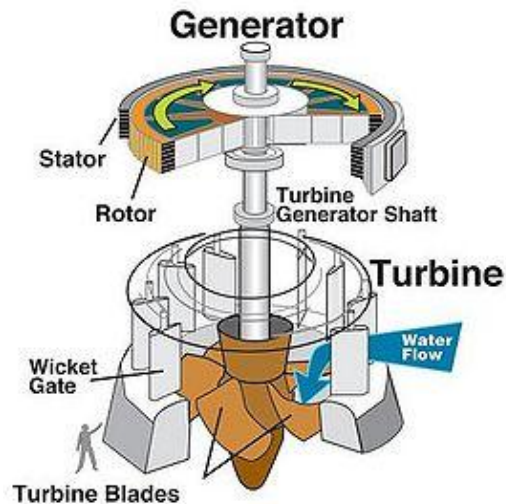
Figura 258 Turbina axial vertical



Fuente: Disponible en internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/Turbina_Kaplan>

- ✓ Generador: es aquel que Transforma la energía mareomotriz en energía eléctrica que va para su respectivo uso en los hogares. Figura 259.

Figura 259 Generador



Fuente: Disponible en internet:

<http://www.construmatica.com/construpedia/Central_Hidroel%C3%A9ctrica>

- ✓ Transformador: Los transformadores mar se encuentran sumergidos en líquido aislante. Estos se utilizan para zonas industriales más difíciles y su precio es bien competitivo, los Transformadores MAR representan una de las soluciones ideales para cualquier instalación industrial.

14.10. Costos del uso de la energía mareomotriz.

Este tipo de energía presenta algunos obstáculos no solo en la parte operacional, sino que el económico también juega un papel primordial.

Esta presenta un periodo corto donde se puede generar energía respecto a un sistema convencional. Si se quisiera operar durante los ciclos de marea con una capacidad instalada de 8,6GW (capacidad propuesta para instalar en el estuario del

río Severn, Gran Bretaña), aproximadamente, solo se podría ofrecer la misma “equivalente capacidad” de una planta convencional de 1 o 2GW. Para esto se necesita invertir en equipos de gran capacidad que solo se usan intermitentemente para reemplazar una cantidad limitada de la Es decir, las instalaciones mareomotrices tienen un relativamente alto costo en relación a la energía producida, si se comparan con la mayoría de los otros tipos de plantas eléctricas. Se requiere un mayor tiempo para recuperar el valor de la inversión por esta razón esta energía no ha tenido un gran desarrollo en comparación con las utilizadas.

Por Otra parte, se suele señalar que esta fuente de energía es sólo aprovechable en caso de mareas altas y en lugares en los que el cierre no suponga construcciones demasiado costosas. Pero para la central de la Rance (Francia), se supuso una construcción realmente costosa en la presa, los costes de la energía generada eran comparables, en 1989, a los producidos por las plantas nucleares francesas.

Hay que tener en cuenta que la vida de estas instalaciones pueden superar los 75 años, y que los costes de operación (combustible) son nulos, cuando los combustibles fósiles y los precios de la energía nuclear aumenten es posible que los proyectos de instalaciones mareomotrices sean por fin atractivos. Ya que En la actualidad, la energía de las mareas se presenta como una opción poco atractiva desde el punto de vista económico.

14.11. Energía mareomotriz en Colombia.

Aquí en Colombia se ha presentado un mayor interés en la energía de las mareas en vez de la energía de las olas, pero hay más posibilidades en la costa Pacífica que en la región Caribe por las características que presentan en cada una como en la Costa Atlántica, el modelo que se usó no mostró velocidades de más de 1,2 m/s para ningún sitio a excepción de la Ciénaga Grande de Santa Marta, debido a su gran tamaño; sin embargo, no es utilizable en el corto plazo debido a que su salida

al mar se encuentra bloqueada por una carretera.” (Polo et al., 2008:109).

14.11.1. Potencial de Generación en Colombia.

De acuerdo a lo publicado por Polo (2009), en Colombia, las costas del Pacífico y del Caribe han sido las más estudiadas. Según la investigación realizada en 2008, en el todo el litoral Caribe lo cual se dedujo que no es posible implementar el aprovechamiento energético con las tecnologías actuales. Un inventario en el Pacífico colombiano elaborado por PESENCA arrojó como resultado un potencial de energía Mareomotriz de 500 MW. El potencial estimado para los 3.000 Km de costas colombianas respecto a la energía de las olas es de 30 GW. Con la tecnología que existía en el 2008, este potencial energético es posible en la costa pacífica colombiana, ya que las mareas son superiores a los 3 metros. Se encontraron 45 posibles bahías en el Litoral Pacífico con potencial energético calculado en 120 MW, de las cuales se destacan:

Bahía Málaga con 3.5 MW

La ensenada de Tribugá con 0.5 MW

Punta Catripe (8MW)

Bocana Bazán (6MW)

Boca Naya (13MW)

Delta Chavica

14.11.2. Selección de los sitios de posible utilización.

Para la costa pacífica colombiana figura 260, hay que tener en cuenta aspectos económicos y ambientales para la construcción de un dique de contención, luego de estudios que se realizaron se pudo clasificar los lugares donde se puede dar la generación de energía mareomotriz, con un área de embalsamiento mínimo hecho por Gómez & Burgos (2009).

Figura 260 Sitios de posible utilización de energía mareomotriz

| No | Sitio | Área de embalsamiento (Km ²) | Longitud de Presa (m) |
|----|--------------------|--|-----------------------|
| 1 | Ensenada de Utría | 4 | 1100 |
| 2 | Boca Virudó | 9 | 400 |
| 3 | Ensenada Catripe | 11 | 600 |
| 4 | Río Baudó | 7 | 600 |
| 5 | Bocana Usaragá | 7 | 1500 |
| 6 | Río Decampado | 16 | 2500 |
| 7 | Bahía Ijuá | 8 | 800 |
| 8 | Bahía Málaga | 80 | 2700 |
| 9 | Boca Cajambre | 6 | 1000 |
| 10 | Boca de Yurumanguí | 16 | 1100 |
| 11 | Boca Naya | 18 | 3200 |
| 12 | Río Guandipa | 6 | 1600 |
| 13 | Bocana Hoja Blanca | 8 | 900 |
| 14 | Bocana del Rosario | 5 | 2000 |
| 15 | Chilvi | 5 | 1400 |

Fuente: Tesis de Grado de Alexander Gómez & William Burgos (2009) Actualización del Inventario de posibilidades de generación de energía mareomotriz en Colombia, Universidad de la Salle. Director Eduardo Machado phd, Oxford university

14.11.3. Potencial mareomotriz de cada sitio.

Los factores que dan un dato acerca del rendimiento de una construcción de un embalse son la longitud del dique de contención y la energía producida por este; cuanto más pequeño sea este cociente, más económico será el costo de la instalación, y los factores geográficos de mayor rendimiento vienen dados por la relación entre el largo del dique de contención y la superficie de retención (A/L). En la figura 261 se puede ver la potencia se analizó teniendo un rango medio de marea de 3.0m. [19]

Figura 261 Características de los sitios

| No | Sitio | Sitio | Área [km ²] | Pi [MW] | Em[GWh] | Presa [m] | L/Em | A/L*10 ³ |
|----|--------------------|-------|-------------------------|---------|---------|-----------|------|---------------------|
| 1 | Ensenada de Utria | 1 | 4 | 7,9 | 17,4 | 1100 | 63,2 | 3,6 |
| 2 | Boca Virudó | 2 | 9 | 18 | 39 | 400 | 10,3 | 22,5 |
| 3 | Ensenada Catripe | 3 | 11 | 21,8 | 47,7 | 600 | 12,6 | 18,3 |
| 4 | Río Baudó | 4 | 7 | 13,9 | 30,4 | 600 | 19,7 | 11,7 |
| 5 | Bocana Usaragá | 5 | 7 | 13,9 | 30,4 | 1500 | 49,3 | 4,7 |
| 6 | Río Decampado | 6 | 16 | 31,7 | 69,4 | 2500 | 36 | 6,4 |
| 7 | Bahía Ijuá | 7 | 8 | 15,8 | 34,7 | 800 | 23,1 | 10 |
| 8 | Bahía Málaga | 8 | 80 | 160 | 347 | 2700 | 7,8 | 29,6 |
| 9 | Boca Cajambre | 9 | 6 | 11,9 | 26 | 1000 | 38,5 | 6 |
| 10 | Boca de Yurumangui | 10 | 16 | 31,7 | 69,4 | 1100 | 15,9 | 14,5 |
| 12 | Río Guandipa | 12 | 6 | 11,9 | 26 | 1600 | 61,5 | 3,8 |
| 13 | Bacana Hoja Blanca | 13 | 8 | 15,8 | 34,7 | 900 | 25,9 | 8,9 |
| 14 | Bocana del Rosario | 14 | 5 | 9,9 | 21,7 | 2000 | 92,2 | 2,5 |

Fuente: Tesis de Grado de Alexander Gómez & William Burgos (2009) Actualización del Inventario de posibilidades de generación de energía mareomotriz en Colombia, Universidad de la Salle. Director Eduardo Machado phd, Oxford university

L es la longitud del dique de contención dado en metros. Por la magnitud de los índices L/Em (bajo) y A/L (más alto), los sitios más aptos para posibles desarrollos mareomotrices son en su orden 20: Figura 262.

Figura 262 Sitios más aptos para posibles desarrollos mareomotrices

| Sitio | L/Em | A/L*10 ³ | Potencia (MW) |
|---------------------------------|------|---------------------|---------------|
| 8 Bahía Málaga | 7,8 | 29,6 | 160 |
| 2. Boca Virudó | 10,3 | 22,5 | 18 |
| 3. Ensenada Catripe | 12,6 | 18,3 | 21,8 |
| 10. Boca Yurumangui | 15,9 | 14,5 | 31,7 |
| 4. Río Baudó | 19,7 | 11,7 | 13,9 |
| Potencia Total Instalada | | | 245,4 |

Fuente: Tesis de Grado de Alexander Gómez & William Burgos (2009) Actualización del Inventario de posibilidades de generación de energía mareomotriz en Colombia, Universidad de la Salle. Director Eduardo Machado phd, Oxford university

En la siguiente tabla comparativa y sobre todo tener en cuenta que en el 2008 para Colombia el costo del kilovatio hora se encontró alrededor de los 13 centavos de dólar, éstos son proyectos en los cuales el valor de la energía media es demasiado alto, por lo cual son proyectos poco viables para emplear actualmente, pero que pueden ser una posible solución a una crisis energética en un futuro cercano. Figura 263

Figura 263 Comparativa de costos

| TABLA COMPARATIVA | | | | | |
|---|--------------|-------------|------------------|-----------------|------------|
| Alternativa | Bahía Málaga | Boca Virudó | Ensenada Catripe | Boca Yarumangui | Río Baudó |
| Costo Total del proyecto (US\$) | 639.375.000 | 40.692.500 | 51.150.000 | 813.750.000 | 43.012.500 |
| Costo del Kilovatio Instalado (US\$/kW) | 4.000 | 2.300 | 2.325 | 2.542 | 3.072 |
| Costo medio de energía (US\$/kW) | 1,84 | 1,04 | 1,07 | 1,17 | 1,42 |

Fuente: Tesis de Grado de Alexander Gómez & William Burgos (2009) Actualización del Inventario de posibilidades de generación de energía mareomotriz en Colombia, Universidad de la Salle. Director Eduardo Machado phd, Oxford university

14.11.4. Limitantes para la generación de energía mareomotriz.

Según el estudio que realizó la Universidad La Salle (García, 2007), se mencionan diferentes barreras, entre las que se incluye el poco recurso humano especializado, la falta de estudios de planeación que integren la generación de este tipo de energía al sistema eléctrico nacional y el gran costo que se da en la infraestructura tecnológica adecuada para el proceso de transferencia de tecnología, con respecto a la adecuación de normas, recomendaciones y mejores prácticas.

Hasta el año 2003 no se encontraban equipos destinados a la producción de energías alternativas a nivel nacional; pero si solo una pequeña producción artesanal de equipos para centrales hidroeléctricas entre 300 y 500 kw. Las diferentes tecnologías disponibles para el desarrollo de este tipo de energía hasta el 2007 estaban sin desarrollar.

14.12. Impacto que tiene al utilizar la energía de las mareas en el medio ambiente.

La energía mareomotriz tiene la cualidad de ser renovable, ya que la fuente de energía primaria no se agota por su explotación, y limpia, ya que en la transformación energética no se producen subproductos contaminantes gaseosos, líquidos o sólidos. Pero si, hay una restricción para la construcción de estas centrales (localización puntual y potencia limitada), no solamente se centra en el mayor coste de la energía producida, sino, en el impacto ambiental negativo que generan en algunos de los más ricos e importantes ecosistemas, como son los estuarios y las marismas.

Impacto ambiental: es Uno de los principales retos que se enfrentan todos los diseñadores hoy en día para alcanzar un mínimo impacto con las turbinas sobre la fauna marina y a nosotros mismo, ya que existe un riesgo bastante alto de alterar la salinidad del agua de la zona e incluso la temperatura del agua.

✓ Impactos sobre la flora y la fauna

Uno de los efectos más destacados sobre los diferentes factores ambientales es el causado sobre las poblaciones de seres vivos que van transformado su hábitat natural. El cambio de estos ecosistemas se produce principalmente por la alteración del lecho marino motivado por la barrera creada. Esta barrera provoca alteraciones en la dinámica litoral que pueden afectar a especies muy sensibles a cambios del medio, alterando todo el equilibrio ecológico.

Para lo anterior se necesita un estudio previo del medio para poder diagnosticar la composición exacta del ecosistema y los posibles efectos que puede tener sobre su ecología la construcción de diques. Un efecto indirecto y no desdeñable es la merma económica provocada en las poblaciones que tienen en los recursos naturales del mar una fuente importante de ingresos.

Para la ubicación de los diques es preciso elaborar estudios biológicos exhaustivos para evitar perjuicios irreversibles derivados de la presencia de endemismos, especies protegidas o especies que pueden resultar vitales a los asentamientos humanos costeros.

✓ Impactos sobre el paisaje

El otro elemento que no es tan obvio y no se fija uno es aquel que afecta el paisaje. La construcción de este tipo de estructuras en zonas bien conservadas y sin degradación entrópica resulta irreversible y deteriora en algunos casos los valores paisajísticos de las zonas de costa. Con esto a la hora de elegir un emplazamiento óptimo hay que tener en cuenta este aspecto como primordial para evitar degradar espacios naturales de gran valor.

14.13. Situación actual, frente a la explotación de la energía de las mareas.

Se sabe que es muy difícil que la energía mareomotriz podrá ser una importante fuente de energía a nivel general, porque hay muy pocas localidades que reúnen los requisitos para construir un sistema de diques en estuarios. El aprovechamiento de este tipo de energía del mar está frenado por la modificación del paisaje y el impacto ecológico, ya que la mayoría de las centrales abarcan de mucho espacio. Hasta la fecha el desarrollo tecnológico de esta energía es escaso ya que necesitan de un alto coste económico. Sin embargo, en determinados países que cuentan con rangos de mareas apropiados, se han propuesto diversos emplazamientos para la instalación de centrales mareomotrices, según WEC (World Energy Council) (figura 264).

Figura 264 Propuestas de instalaciones de centrales mareomotrices

| Pais | Región | Marea (m) | Superficie (km ²) | Potencia (MW) | Producción (TWh/año) |
|-------------|------------------|-----------|-------------------------------|---------------|----------------------|
| Argentina | San José | 5,8 | 778 | 5.040 | 9,4 |
| | Golfo Nuevo | 3,7 | 2.376 | 6.570 | 16,8 |
| | Rio Deseado | 3,6 | 73 | 180 | 0,45 |
| | Santa Cruz | 7,5 | 222 | 2.420 | 6,1 |
| | Rio Gallegos | 7,5 | 177 | 1.900 | 4,8 |
| Australia | Bahia Secure | 7,0 | 140 | 1.480 | 2,9 |
| Canadá | Walcott Inlet | 7,0 | 260 | 2.800 | 5,4 |
| | Cobequid | 12,4 | 240 | 5.338 | 14,0 |
| | Cumberland | 10,9 | 90 | 1.400 | 3,4 |
| | Shepody | 10,0 | 115 | 1.800 | 4,8 |
| India | Golfo de Kutch | 5,0 | 170 | 900 | 1,6 |
| | Golfo de Khambat | 7,0 | 1.970 | 7.000 | 15,0 |
| Corea Rep. | Garolim | 4,7 | 100 | 400 | 0,836 |
| | Cheonsu | 4,5 | — | — | 1,2 |
| México | Rio Colorado | 6-7 | — | — | 5,4 |
| Reino Unido | Severn | 7,0 | 520 | 8.640 | 17,0 |
| | Mersey | 6,5 | 61 | 700 | 1,4 |
| | Duddon | 5,6 | 20 | 100 | 0,212 |
| | Wyre | 6,0 | 5,8 | 64 | 0,131 |
| | Gonwy | 5,2 | 5,5 | 33 | 0,060 |
| EEUU | Pasamaquoddy | 5,5 | — | — | — |
| | Knik Arm | 7,5 | — | 2.900 | 7,4 |
| | Turnagain Arm | 7,5 | — | 6.500 | 16,6 |
| Fed. Rusa | Mezen | 6,7 | 2.640 | 15.000 | 45 |
| | Tugur | 6,8 | 1.080 | 7.800 | 16,2 |
| | Penzhinsk | 11,4 | 20.530 | 87.400 | 190 |

Fuente: Libro, Centrales de energías renovables generación eléctrica con energías renovables [646]

En la actualidad, no hay razones o motivos significativos de índole técnica para que las corrientes marinas no sean explotadas a gran escala en un futuro cercano, ya que la ingeniería que se Precisa existe. Sin embargo, los factores que pueden se pueden solucionar son solamente a través de un programa técnico de investigación

y desarrollo que si se puede construir un sistema de aprovechamiento de corrientes marinas fiable y duradero a bajo costo.

Por el año 2004 el Gobierno chino expresó su apoyo a un ambicioso proyecto de Tidal Electric para instalar una laguna mareomotriz (tidal lagoons) con potencial de 300 MW a una distancia moderada de la costa, en las aguas cercanas a la boca del río Yalu. Este sería el proyecto de mayor potencia instalada del mundo, superando los 240 MW de la central de La Rance (Francia).

Otro dato es que en Corea se está construyendo un dispositivo para el aprovechamiento de la energía de las corrientes marinas originadas por las mareas en el lago Shiswa de la ciudad de Ansan, que tendrá una capacidad de 252 MW. El sistema tendrá alrededor de 21 unidades de 21 MW con lo que se puede estimar obtener 552 millones de kWh/año de energía cuando se complete en el 2008. Esto fue Diseñado por el Instituto Coreano de Investigación y Desarrollo Oceánico (Ocean Research & Development Institute) este proyecto es financiado por la Corporación de Recursos de Agua de Corea (Water Resource Corporation). Los costos se estiman en 202 millones de euros, con un precio por kWh de 0,057 euros. Si se alcanzara a realizar, el proyecto sobrepasará la potencia instalada en La Rance.

Además Corea también está planificando la construcción de una planta de 1 MW para el aprovechamiento de la energía de las corrientes producidas por las mareas en el Estrecho de Uldol-muk. La planta que será experimental utilizará turbinas de hélice desarrolladas por GCK. la cual es una compañía americana Tidal Electric la propuso estos dos proyectos de lagunas mareomotrices para el aprovechamiento de la energía de las mareas en Gales. Como proyecto inicial con un potencial de 60 MW se ha propuesto para la bahía de Swansea, en Reino Unido, en un área de 5 km² y aproximadamente a 1,5 km de la costa. El mayor proyecto, dependiendo del éxito que se obtenga del proyecto de Swansea, podría ser instalar 400 MW en Rhyl, en la costa de Gales.

14.14. Origen de la energía maremotérmica.

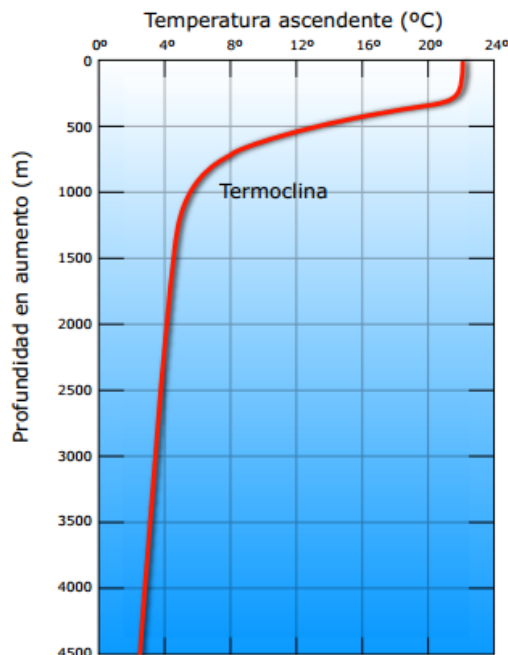
La primera e importante fuente de energía atmosférica es la del Sol. Porque las radiaciones que inciden sobre la superficie de la Tierra están conformadas por ondas de una pequeña longitud de onda, que una parte son absorbidas por el ozono en la estratosfera y la mayor parte por las nubes, que son reflejadas nuevamente al espacio en un 34%. El 66% restante de la energía es absorbida por la superficie terrestre. pero existe un equilibrio anual entre la energía absorbida por la Tierra y la que ésta emite de nuevo al espacio; si no fuera de esa forma, en la Tierra se empezaría a dar un incremento continuo de temperatura, que se estima en 1,5°C diarios.

Hoy en día las dos terceras partes de la superficie de la Tierra están cubiertas de agua en un porcentaje muy elevado (97,7%) esta agua se encuentra en el mar. Esto quiere decir que una gran parte de la radiación solar absorbida por la superficie terrestre se da a cabo en el mar. El agua del mar, comparada con las tierras, tiene un calor específico más alto, quiere decir que la cantidad de calor necesario para elevar un grado su temperatura es más elevado. Esto lleva a que se calienta y se enfría más lentamente que las tierras. De todas formas en la tierra la radiación solar se queda en casi toda en la superficie, mientras que en el agua del mar la radiación solar penetra, hasta una profundidad promedio de cien metros, pero que puede propagarse hasta los mil metros. Esta penetración de las radiaciones depende principalmente de la turbidez, es decir, de la cantidad de materia sólida que se encuentra en suspensión.

Por Todo lo anterior por ende se dice que el mar es el colector solar y el sistema de almacenamiento de energía más grande del mundo. Además, la gran inercia térmica de los océanos permite que la temperatura sea más estable en ellos y menos marcados sus cambios, durante un transcurso de un día o de las cuatro estaciones del año, que en los continentes. Entre más profundo se sumerja en el mar la intensidad de la radiación disminuye a su vez la temperatura también disminuye.

Por lo tanto se dice de una manera muy simple, que la distribución vertical de temperaturas en el océano abierto consiste en dos capas separadas por una interface. La primera capa superior de agua relativamente caliente, que presenta una temperatura uniforme; esa capa está entre los 20 a los 200 metros de profundidad, dependiendo de las condiciones locales. Debajo de esta franja existe una zona limítrofe, denominada termoclina (Figura 265), que se caracteriza por un descenso brusco de la temperatura y con mayor frecuencia por un cambio gradual.

Figura 265 Termoclina



Fuente: Disponible en internet:

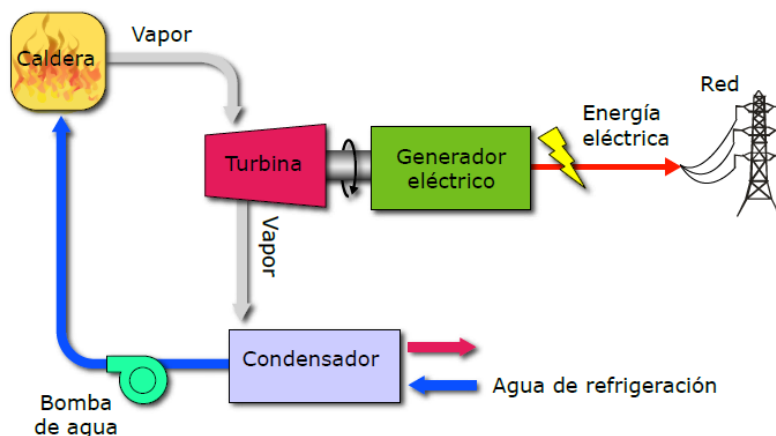
<<http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo24.pdf>>

Esta franja, está considerada entre los 200m y 400m de profundidad, es aquella que 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 disminuye progresivamente hasta alcanzar 4°C a 1km de profundidad. Por lo general, cuando se llega en los océanos a profundidades de 1.500 metros o mayores, la temperatura del agua puede ser menor de 4°C, en cualquier parte del

mundo, independientemente de la temperatura superficial. En algunas profundidades de abismos, que alcanza a ser unos 11 kilómetros desde la superficie, la temperatura medida es menor de 2°C, casi llegando al punto de congelación del agua salada, que para una salinidad con 25% su punto de congelación es de aproximadamente 1,33°C. La diferencia de temperaturas entre la capa superior (caliente) y la capa inferior (fría) se encuentra en el intervalo de 10°C a 25°C, hallándose valores más elevados en las aguas ecuatoriales.

Este gradiente térmico presente en el océano es de gran importancia como fuente de energía, denominada energía Mareomotérmica, la cual puede ser aprovechada para producir electricidad mediante la utilización de una máquina térmica que, cualitativamente, operaría de forma idéntica a una central térmica convencional (Figura 266). Esto quiere decir que el agua caliente de la capa superior oceánica actúa como fuente de calor, mientras el agua extraída de las profundidades actúa como refrigerante (Figura 267). Sin embargo, hay que señalar que, cuantitativamente, las diferencias entre ambos tipos de instalaciones son

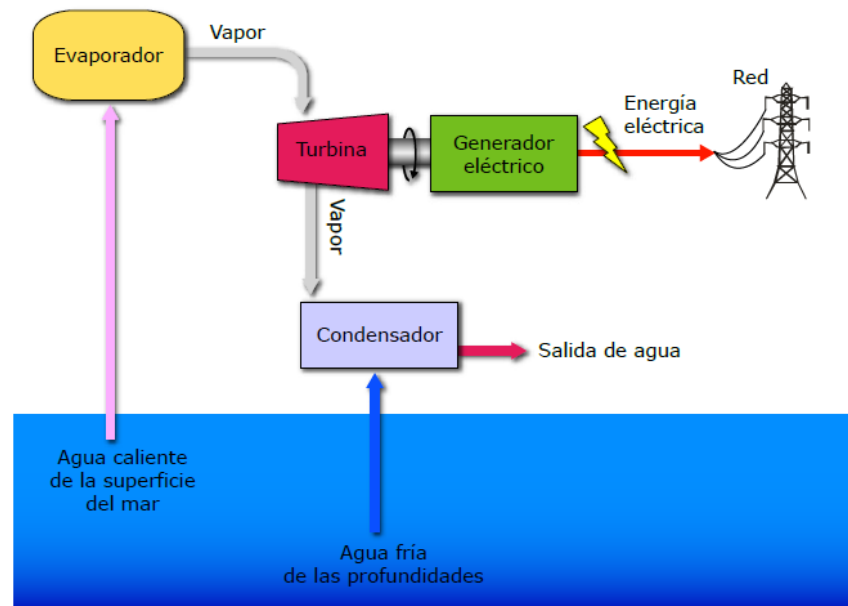
Figura 266 Esquema conceptual de una central térmica convencional



Fuente: Disponible en internet:

<<http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo24.pdf>>

Figura 267 Esquema conceptual de una central Mareomotérmica



Fuente: Disponible en internet:

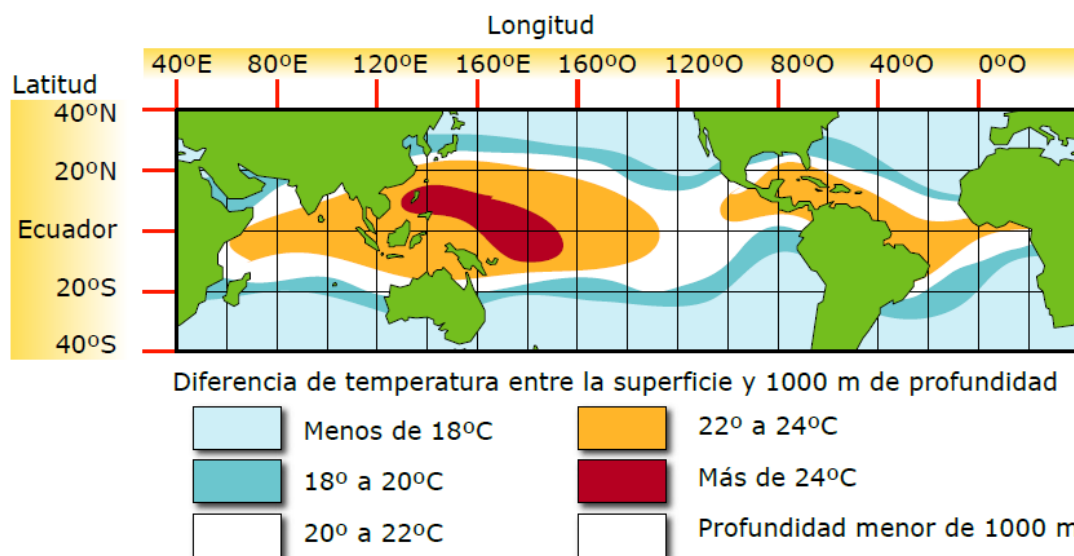
<<http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo24.pdf>>

14.14.1. Potencial de la energía Mareomotérmica.

La radiación solar produce un gran calentamiento de las superficies marinas ecuatoriales, las cuales llegan a alcanzar temperaturas de aproximadamente 28°C.

Esta radiación da lugar a que en el agua se almacene una cantidad importante de energía calorífica, aunque esta temperatura es relativamente baja, la cantidad de agua involucrada es enorme, y el calor absorbido por un cuerpo es directamente proporcional a su masa y al incremento de temperatura al que se le somete. Para aprovechar la energía Mareomotérmica se requiere que el gradiente térmico sea de al por lo mínimo de 20°C. Por esto las mejores zonas térmicamente favorables son las que se encuentran en las regiones ecuatoriales y subtropicales (Figura 268).

Figura 268 Zonas del mundo térmicamente favorables



Fuente: Disponible en internet:

<<http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/cursos/contenidos/docpdf/capitulo24.pdf>>

Se podría decir que en un año aproximadamente la energía solar absorbida por los océanos es alrededor de 4.000 veces la energía que en la actualidad consume la humanidad.

Con un solo 1% de la energía renovable que produzca un sistema Mareomotérmica, con un rendimiento del 3%, se satisface todas nuestras necesidades energéticas actuales. Pero además del gradiente térmico hay otros factores, como las condiciones marinas, meteorológicas, tecnológicas, etc., que influyen de forma decisiva en la elección del emplazamiento. Por esto no es tan fácil seleccionar las zonas aprovechables y menos aún poder evaluar la energía extraíble para aquello se es necesario estudios más precisos que permitan valorar las posibilidades de utilizar eficazmente desde un punto de vista técnico y económico, el uso de plantas Mareomotérmicas.

14.14.2. Tecnologías y sistemas para aprovechar la energía Mareomotérmica.

El usar y sacar provechó de los gradientes térmicos de las aguas oceánicas se lleva a cabo en las denominadas plantas Mareomotérmicas. En estas plantas se transforma la energía térmica en energía eléctrica utilizando un ciclo termodinámico denominado “ciclo de Rankine”, en honor del ingeniero y físico británico William John Macquorn Rankine (1820-1872). El cual el ciclo se usa calor para evaporar un líquido, que posteriormente se utiliza en el accionamiento de una turbina, la cual se acopla a un generador eléctrico para producir energía eléctrica.

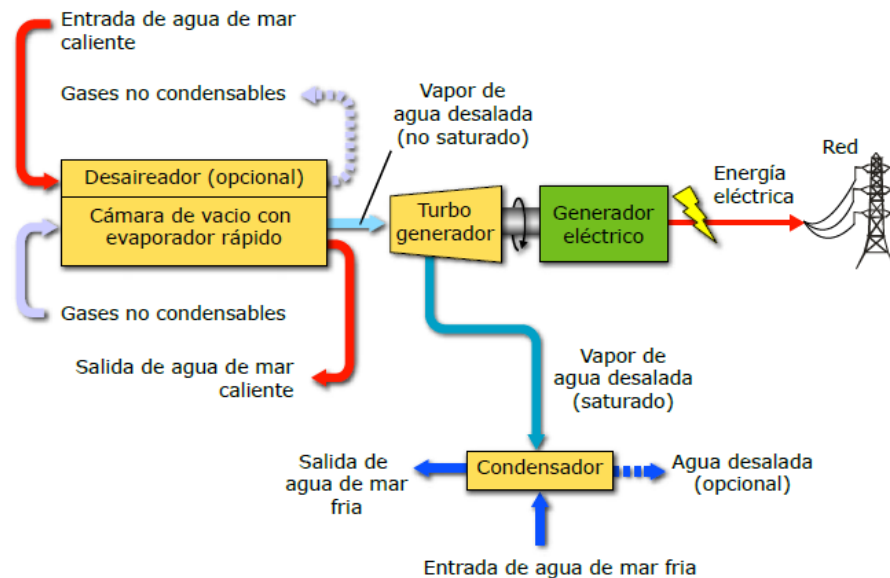
Existen básicamente tres tipos de sistemas para el aprovechamiento de esta fuente de energía:

- ✓ Sistemas de ciclo abierto.
- ✓ Sistemas de ciclo cerrado.
- ✓ Sistemas de ciclo híbrido.

En un sistema de ciclo abierto, llamado también ciclo de Claude, se emplea el agua caliente de la superficie del océano como fluido de trabajo para accionar la turbina. El agua caliente se evapora súbitamente en un evaporador en el que anteriormente se ha extraído todo el aire, con una bomba de vacío. Ya al disminuir la presión en el evaporador por falta de aire, también disminuye la temperatura de ebullición del agua de mar, por lo que empieza a hervir a la temperatura en que se encuentra la superficie del mar. En el evaporador es donde se obtiene una mezcla de vapor y agua líquida a la presión de saturación correspondiente a la temperatura del agua (0,0356 bares para una temperatura del agua de mar de 27°C). El vapor separado del agua líquida pasa a través de una turbina de expansión, accionándola, luego se dirige a un condensador, donde se obtiene de nuevo agua líquida saturada a una presión y temperatura aproximadas de 0,017 bares y 15°C, respectivamente el mar cumple la función como fluido refrigerante. El agua líquida procedente del evaporador y del condensador se retorna al mar (Figura 269). El proceso se repite con continuos suministros de agua caliente y fría.

Además de los dispositivos mencionados, para una instalación de este tipo se requiere de equipos para eliminar los gases disueltos en el agua del mar, los cuales no son condensables.

Figura 269 Esquema conceptual de una central Mareomotérmica de ciclo abierto



Fuente: Disponible en internet:

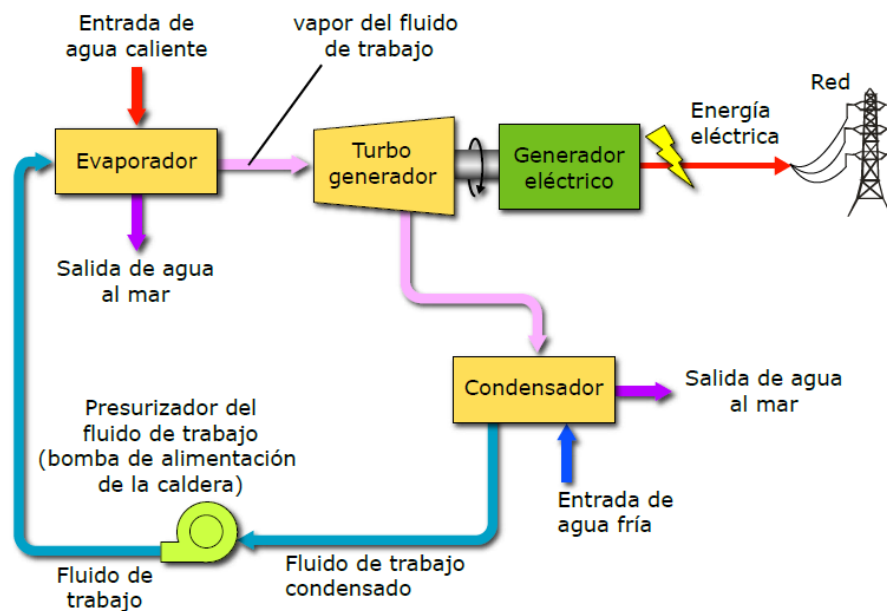
<<http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo24.pdf>>

El rendimiento presente en este sistema es muy bajo, está en un 7%. Esto se debe a la baja temperatura del foco caliente y la poca diferencia de temperatura entre el foco frío y caliente. Además se consume energía para bombear el agua fría de las profundidades del mar para condensar el vapor y para accionar la bomba de vacío del evaporador. La potencia eléctrica está entre un 20% a un 30% que se consume en las operaciones de bombeo. Además, hay que señalar que las bajas presiones del vapor de trabajo implica la necesidad de diseñar turbinas específicas, de gran tamaño, lo que dificulta el desarrollo de este tipo de sistemas.

Para el ciclo cerrado, también llamado ciclo de Anderson, donde el calor se transfiere desde el agua caliente procedente de la superficie del mar a un fluido de trabajo hasta su punto de ebullición (como el propano, freón o el amoníaco) para

ser evaporado a presiones más adecuadas (alrededor de los 10 bares). El vapor expandido se dirige a la turbina acoplada al generador que produce electricidad. El agua fría del mar pasa a través de un condensador que contiene el fluido de trabajo vaporizado transformándolo en líquido, que es reciclado a través del sistema (Figura 270)

Figura 270 Esquema conceptual de una central Mareomotérmica de ciclo cerrado



Fuente: Disponible en internet:

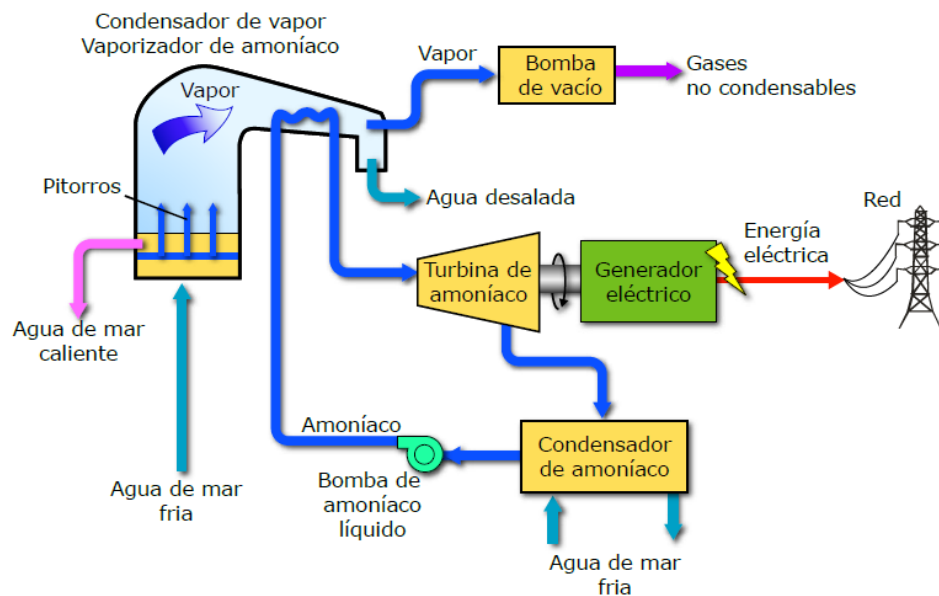
<<http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo24.pdf>>

Los sistemas de ciclo cerrado tienen la ventaja, frente a los sistemas de ciclo abierto, de necesitar turbinas más pequeñas. Ello se debe a que la presión y el volumen específico del fluido de trabajo son más elevados. Sin embargo, hay que señalar que las superficies de transferencia de calor en el evaporador y el condensador son más grandes debido al bajo rendimiento del sistema.

Un sistema híbrido es la combinación de dos ciclos como lo son los sistemas de ciclo abierto y de ciclo cerrado como forma de optimizar su funcionamiento. Con este sistema híbrido se quiere conseguir la producción de electricidad y la

desalinización de agua de mar. Para un sistema híbrido (Figura 271), el agua caliente del mar entra primero por un evaporador donde es súbitamente evaporada, de manera igual como lo es en un proceso de evaporación de ciclo abierto. El calor del vapor obtenido se utiliza para vaporizar el fluido de trabajo, de bajo punto de ebullición, que circula en un ciclo cerrado. El fluido vaporizado acciona una turbina que produce electricidad. El vapor obtenido del agua de mar se condensa dentro de intercambiador de calor proporcionando agua desalinizada, que puede ser utilizada para consumo humano, agrícola etc.

Figura 271 Esquema conceptual de una central Mareomotérmica de ciclo híbrido



Fuente: Disponible en internet:

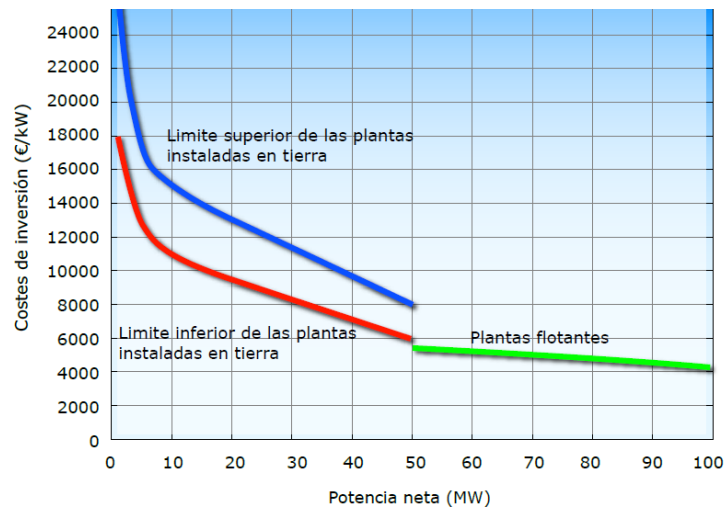
<<http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo24.pdf>>

14.14.3. Costos del uso de la energía Mareomotérmica.

Como toda la primera planta Mareomotérmica se requieren de grandes inversiones de capital (Figura 272). Dado la competencia que hay contra el bajo precio del petróleo, y de los combustibles fósiles en general, el desarrollo de plantas

Mareomotérmica probablemente sea promovido fundamentalmente por las agencias gubernamentales y en menor medida por la industria privada.

Figura 272 Costes de inversión de planta Mareomotérmica



Fuente: Disponible en internet:

<<http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo24.pdf>>

Para Competir económicamente con las tecnologías convencionales pueden ser identificadas comparando los costos de producción de electricidad y de agua desalinizada.

En la figura 273 se resumen los resultados obtenidos utilizando los costos de inversión y considerando un interés fijo del 10%, un préstamo de 20 años, y una planta Mareomotérmica con una disponibilidad del 80%. Los costos de operación y mantenimiento se han estimado en aproximadamente 1,5% de los costos de capital.

Hay un escenario que corresponde a pequeñas islas, donde los costos para generar electricidad y agua potable son muy altos. Para este tipo de sitios se puede conseguir que planta Mareomotérmica instalada en tierra de 1MW y con desalinización de agua, podría competir económicamente hoy día. Pero hay que tener en cuenta esta posibilidad, son pocos los lugares en el mundo que presentan este escenario. Otro escenario se da donde las condiciones son muy aptas y están

en varias islas. Para este escenario las plantas Mareomotérmica de 10MW ubicadas en tierra podrían suministrar electricidad y agua desalinizada a costos competitivos. Hay un pronóstico que dentro de 20 años, en varias islas del Pacífico con buenas características, se encuentre instalados un total de 100 a 300MW. Como penúltimo escenario corresponde a plantas Mareomotérmica híbridas, situadas en tierra, para un mercado de naciones industrializadas. Para aquello se emplearían plantas de 50MW o de mayor capacidad y podría tener un costo del doble del costo del fuel oil o del costo agua producida.

Figura 273 Costes de inversión de planta Mareomotérmica

Potenciales lugares de implantación de Plantas mareomotérmicas en función de los costos del fuel y del agua desalinizada.

| Tamaño nominal, MW | Tipo | Escenario | Sitios potenciales |
|--------------------|---|---|---|
| 1 | Plantas ubicadas en tierra con segunda etapa para producir agua potable | Costo del diesel: 45€/barril Agua: 1,6€/m ³ | Situación actual en pequeñas islas estados. |
| 10 | Igual que el anterior. | Fuel Oil: 30€/barril Agua: 0,9€/m ³ | Áreas insulares del Pacífico americano y otras naciones islas. |
| 50 | Sistemas híbridos en tierra, con segunda etapa | Fuel Oil: 50€/barril Agua: 0,4€/m ³ o | Hawaii, Puerto Rico Si los costos del fuel y del agua se duplican. |
| 50 | Sistemas ubicados en tierra | Fuel Oil: 30€/barril Agua: 0,8€/ m ³ | Igual que arriba. |
| 100 | Plantas flotantes | Fuel Oil: 20€/barril | Numerosos sitios |

Fuente: Disponible en internet:

<<http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo24.pdf>>

Como último escenario se encuentran las plantas Mareomotérmica flotantes destinadas a la generación de electricidad, de 100 MW como potencial, y que transportan la electricidad a la costa mediante un cable submarino. Estas plantas se podrían implantarse en muchos lugares y podrían abarcar un mercado

significativo. Los costos estimados de inversión y los costos resultantes de la electricidad se muestran en la figura 274.

Figura 274 Costes estimados de una planta Mareomotérmica flotante de 100 MW

| Distancia a la costa, km | Costos de capital, €/kW | Costo de la energía, €/kWh |
|--------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 10 | 4.200 | 0,07 |
| 50 | 5.000 | 0,08 |
| 100 | 6.000 | 0,10 |
| 200 | 8.100 | 0,13 |
| 300 | 10.200 | 0,17 |
| 400 | 12.300 | 0,22 |

Fuente: Disponible en internet:

<<http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo24.pdf>>

14.14.4. Ventajas de la energía Mareomotérmica.

Empezando con las ventajas de esta energía tenemos que Las plantas Mareomotérmica usan fuentes naturales de energía, que son abundantes, limpias y renovables. El agua caliente de las superficies y el agua fría de las profundidades de los océanos reemplazan a los combustibles fósiles para generar electricidad.

Estas Plantas Mareomotérmica por su diseño producen poco o Nada de dióxido de carbono u otras sustancias químicas contaminantes que contribuyen a la lluvia ácida o al calentamiento global (el “efecto invernadero”)

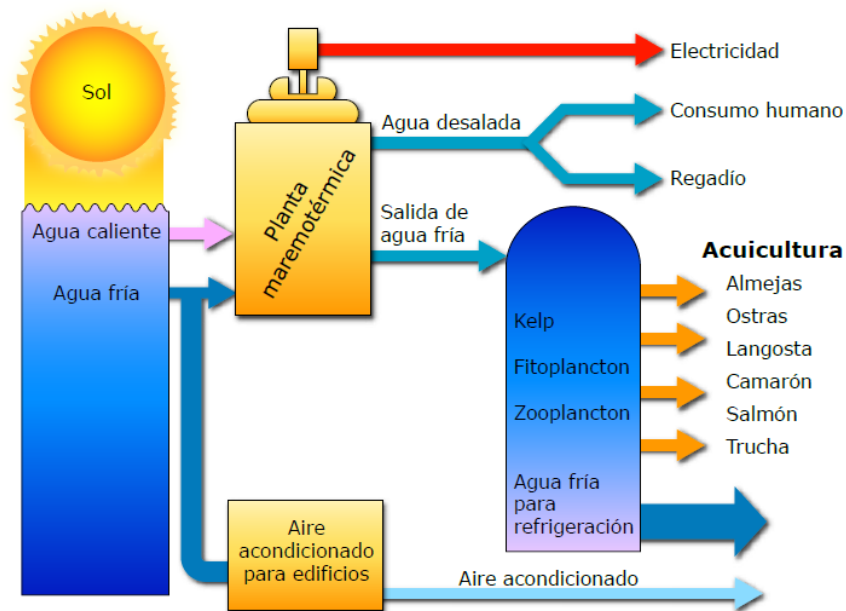
Otra ventaja de un sistema Mareomotérmica es que puede producir agua potable.

Como existe gran energía solar almacenada en los primeros metros de profundidad del agua de los mares tropicales por lo cual con esta se puede cubrir la mayor parte de las actuales necesidades energéticas de la humanidad.

El empleo de plantas Mareomotérmica como fuente de electricidad ayudará a reducir la gran dependencia que tenemos en la actualidad con los combustibles fósiles e importados que son los que mayores contaminaciones generan.

El agua fría del mar que viene de los procesos mareomotérmicos puede tener algunos usos extra, incluyendo acondicionamiento de aire de edificios, alimentación de peces, crustáceos, algas marinas y otras plantas marinas que encuentran en estas aguas profundas contienen buenos nutrientes (Figura 275).

Figura 275. Diversos usos de la energía Mareomotérmica



Fuente: Disponible en internet:

<<http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo24.pdf>>

14.14.5. Desventajas de la energía Mareomotérmica.

Como sabemos Las plantas Mareomotérmica son aquellas que producen electricidad actualmente a un alto costo al que se obtiene mediante el empleo de combustibles fósiles. Los costos de la electricidad podrían reducirse significativamente si la planta operase sin importantes revisiones en 30 años o más, pero no se disponen de datos sobre los ciclos de vida de estas plantas.

Las plantas Mareomotérmica deben instalarse donde existan diferencias de temperatura a lo largo del año de 20°C para lo cual es complicado conseguir lugares con esta característica. Las profundidades del océano deben estar disponibles muy cerca de la costa para economizar las operaciones.

Así se hubieran realizado numerosos ensayos de plantas Mareomotérmica de pequeña escala, se precisa de la construcción de una planta piloto o de demostración de tamaño comercial para obtener una mayor información de su viabilidad.

La construcción de plantas Mareomotérmica y la ubicación de las tuberías en las aguas costeras pueden tener causar algún daño localizado en los arrecifes y ecosistemas marinos cercanos.

Es de gran importancia que se hagan algunos desarrollos adicionales de componentes claves para que las futuras plantas Mareomotérmica tengan éxito (un ejemplo de esto sería que las tuberías para extracción del agua de las profundidades marinas sean menos costosas; construcción de turbinas de menor presión y condensadores más apropiados para los sistemas de ciclo abierto, etc.)

14.15. Situación actual y las perspectivas de futuro de esta fuente energética renovable.

Hoy en día es de gran facilidad poder aprovechar en una pequeña escala, el gradiente térmico de los océanos. Pero Las posibilidades de esta técnica se han desarrollado y potenciando a lo largo de los años debido a la transferencia de tecnología asociada a las explotaciones petrolíferas fuera de costa. El desarrollo tecnológico de esto ha alcanzado en las instalaciones de plataformas profundas, la uso de mejores materiales compuestos y las nuevas técnicas de unión harán posible la implantación de plantas Mareomotérmicas se vuelvan más fiables. Para todo este sería necesaria una mayor investigación en la construcción de las turbinas utilizadas en el proceso para que las centrales de mayor tamaño (mayores de 20MW) puedan desarrollarse. Pero gracias a programas de investigación y desarrollo de plantas Mareomotérmicas que se están desarrollando en muchos lugares del mundo. Probablemente, cuando los precios y la escasez de combustibles fósiles hagan viable económicamente a las centrales Mareomotérmicas, entonces las instalaciones se multiplicarán en aquellas partes del mundo que cumplan con los requisitos básicos para su funcionamiento.

14.16. Conclusiones.

- ✓ Se dio a conocer algunos aspectos básicos respecto al origen y potencial de la energía mareomotriz como de la Mareomotérmica.
- ✓ Se explicó el tipo de tecnologías actuales para el aprovechamiento de la energía potencial almacenada mediante los diferentes métodos, en estuarios debido a las mareas y las tecnologías desarrolladas para la extracción de la energía de las corrientes marinas originadas por las mareas mediante el método de extracción con turbina de corriente.

- ✓ Se ha realizado un breve resumen histórico sobre el aprovechamiento de este tipo de energía en el mundo, señalando algunas de las centrales más importantes en el mundo y los sitios más adecuados para esta explotación de este tipo de energía con su respectiva tecnología que se usa en las centrales mareomotrices.
- ✓ Se trató el tema importante como lo es el obstáculo que suponen los altos costes de inversión de las centrales mareomotrices y la escasa experiencia acumulada sobre los costes asociados a las plantas de aprovechamiento de la energía de las mareas.
- ✓ Asimismo, se han indicado los efectos positivos y negativos que estas instalaciones pueden tener sobre el medioambiente, teniendo en cuenta que este tipo de energía que es renovable también genera contaminación.
- ✓ Por último, se ha indicado la situación actual y las perspectivas de futuro de esta fuente energética renovable como también que potencial hay en Colombia o que se está trabajando para aprovechar este tipo de energía teniendo en cuenta que tenemos la ventaja de tener dos costas.

15. ENERGÍA DE LAS OLAS

15.1. Introducción.

Las olas son ondas generadas en el mar son por las fuerzas que el viento hace sobre el agua de los océanos. El viento global, es la causa de las diferencias de presión esto a su vez por las diferencias de temperatura en zonas del planeta como resultado de la radiación solar, por esto se dice que la energía de las olas procede del Sol, en este caso de forma terciaria.

La energía contenida en las olas depende de dos factores, la velocidad del viento y de la distancia que las olas viajan con él. En Cuanto sea mayor la velocidad del viento y una distancia más larga recorrida por la ola con el viento soplando sobre ella, mayor será la energía que el agua absorbe o acumule.

Las olas que presentan una mayor energía se encuentran en los grandes océanos, donde el viento sopla ininterrumpidamente y durante miles de kilómetros. Estas olas se encuentran al norte y sur del ecuador, entre el rango de dos latitudes 30o y 60o, donde los vientos son muy fuertes. Una vez que las olas se forman, ellas continúan viajando con pequeñas pérdidas de energía hasta que llegan a la costa. Cuando se encuentran en zonas de baja profundidad de agua incrementan su tamaño, aunque su tamaño y dirección de las olas varían por las características de la costa.

15.2. Objetivos.

- ✓ Aprender sobre el origen y su potencial que tiene este tipo de fuente energética.
- ✓ Conocer que tecnologías existen o que propuestas hay para la extracción de la energía de las olas.
- ✓ Estudiar los costes que tiene una instalación para su explotación de la energía de las olas.
- ✓ Explicar los efectos positivos y negativos sobre el medioambiente.
- ✓ Reconocer la situación actual de las centrales de aprovechamiento de energía de las olas.

15.3. Origen de las energías de las olas.

Como sabemos Las olas son movimientos ondulatorios del agua, producidos cuando el viento interactúa con la superficie del agua de los océanos, mares y grandes lagos y se propagan hasta llegar a las costas.

Una ola se da cuando el viento tiene contacto con la superficie del mar, así provoca un movimiento vertical y también horizontal en cada partícula de agua. Para generar movimientos cíclicos y sincronizados que forman ondas que se desplazan en la misma dirección del viento, empezando con una poca altura y baja longitud de onda, pero con la ayuda de la velocidad del viento y su dirección se mantiene y perdura con el tiempo, van aumentando su longitud de onda y así se forman las olas.

Esto de manera retroalimentado más la ayuda de la velocidad y la dirección del viento, manteniendo estos valores alcanzados, las olas van adquiriendo altura y a mayor altura, mayor influencia del viento, pudiendo generar olas de varios metros de altura.

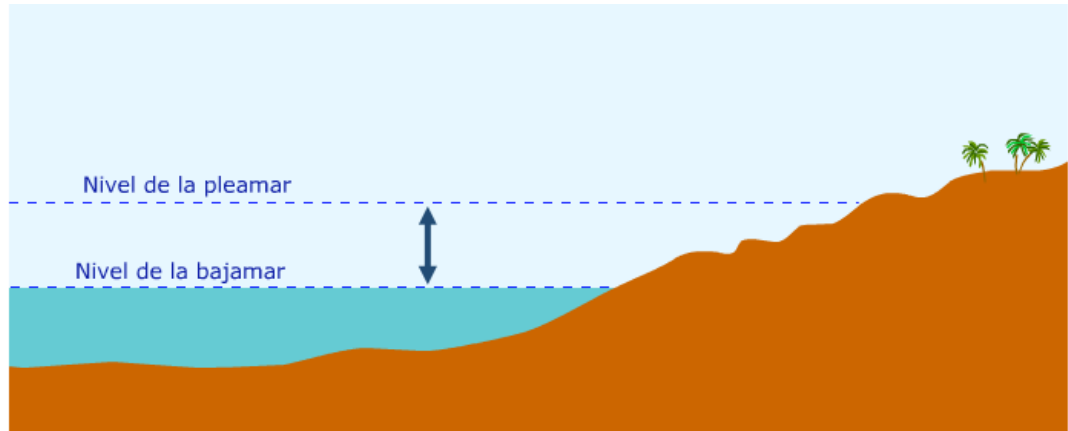
Cuando las olas llegan a lugares de poca profundidad, este movimiento presente cicloidal de las partículas de agua se interrumpe, porque la cresta de la ola (es el punto más alto) avanza más rápido que el seno (el punto más bajo), por eso la ola se rompe y libera toda la energía que trae con ella.

Hay olas de gran tamaño como son los tsunamis, que es debido a la energía desprendida desde el fondo oceánico por seísmos y volcanes submarinos. La velocidad y altura que alcanzan este tipo de olas pueden penetrar varios kilómetros en tierra, arrasando todo lo que encuentran a su paso es una energía muy grande la que trae con ella.

Además cuando se habla de olas debemos hablar sobre las mareas que son movimientos periódicos del agua del océano donde hay ascensos y descensos del nivel del agua. Los cuales son provocados por las fuerzas de atracción que ejercen la Luna y el Sol sobre la Tierra (sobre todo la Luna). Figura 276.

Cuando la marea es alta, tiene como nombre de pleamar, y cuando empieza a bajar y el agua alcanza el nivel más bajo, se llama bajamar.

Figura 276 Niveles de marea



Fuente: Disponible en internet:

<http://biologiaygeologia.org/unidadbio/a_ctma/u2_hidrosfera/u2_t1contenidof/41_olas_y_mareas.html>

Según la ubicación del Sol y de la Luna hay dos tipos:

Las Mareas vivas: se presentan cuando la Luna, el Sol y la Tierra se alinean, y las fuerzas gravitatorias de la Luna y el Sol se suman, ocurren los mayores cambios en el nivel del mar. Estas se producen en semanas alternas cada vez que hay luna llena o nueva.

Mareas muertas: Se dan cuando los tres astros forman un ángulo recto entre ellos, esto ocurre cada dos semanas, cuando la Luna está en cuarto creciente o cuarto menguante.

Las mareas se pueden percibir en las costas, donde se observan los cambios de nivel del mar. La amplitud a la que pueden llegar es mayor en las costas de los

océanos abiertos que los mares cerrados, así mientras que en el océano Atlántico oscilan entre 3 y 16 m, en el mar Mediterráneo es de unos 30 cm.

15.4. Potencial de la energía de las olas.

La energía almacenada en las olas oceánicas es enorme. Incluso, se puede decir que una parte de energía que sea explotada tiene un gran potencial como para compararla con el consumo actual de electricidad en el mundo.

El uso de esta energía de las olas se encuentra limitado a las zonas costeras o sitios cercanos, por lo que no se explota. Para tener una idea de su uso se han realizado diversos estudios con el propósito de estimar el potencial mundial, dando como resultado que la potencia mundial es de aproximadamente 2 TW y la energía anual generable de 17.500 TWh/año. El límite que puede alcanzar para ser explotado este recurso probablemente se encuentre por el rango de 10% a 25%. Por tal motivo la energía de las olas puede ayudar de una forma significativamente a la satisfacción de la demanda de energía.

La potencia P , en kW por metro de ancho de ola, contenida en una ola oceánica que se tiene como ideal (donde la onda senoidal de amplitud constante y periodo y longitud de onda bien definidos) se puede mostrar según la siguiente ecuación:

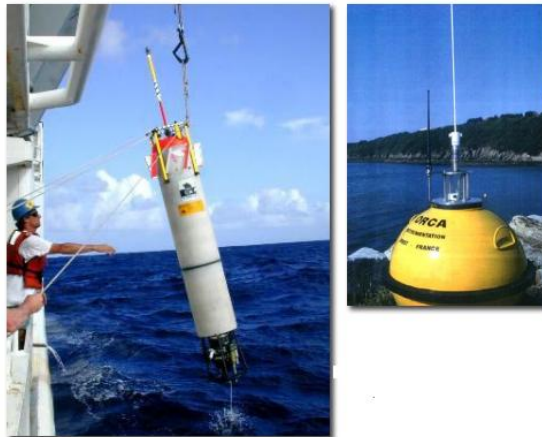
$$P = g^2 \rho H^2 T / 32\pi \quad (\text{kW/m})$$

Esta ecuación de potencia que tiene una ola es proporcional al cuadrado de la amplitud (H) y al periodo del movimiento (T). Las olas comprendidas con periodos largos (entre 7s y 10s) y grandes amplitudes (del orden de 2m) tienen un flujo de energía que normalmente excede de los 40-50kW por metro de ancho.

La potencia total en cada metro de frente de ola del mar irregular es la suma de las potencias de todos sus componentes en todas direcciones. Por todos estos factores, es imposible medir todas las alturas y periodos de ondas independientemente, por tanto, para estimar la potencia total se utiliza una media.

Para medir algunas características se usan dispositivos como se ven en la figura 277. Donde se puede recoger la variación del nivel de la superficie del mar durante un determinado periodo y en la 278 la distribución global de energía de las olas.

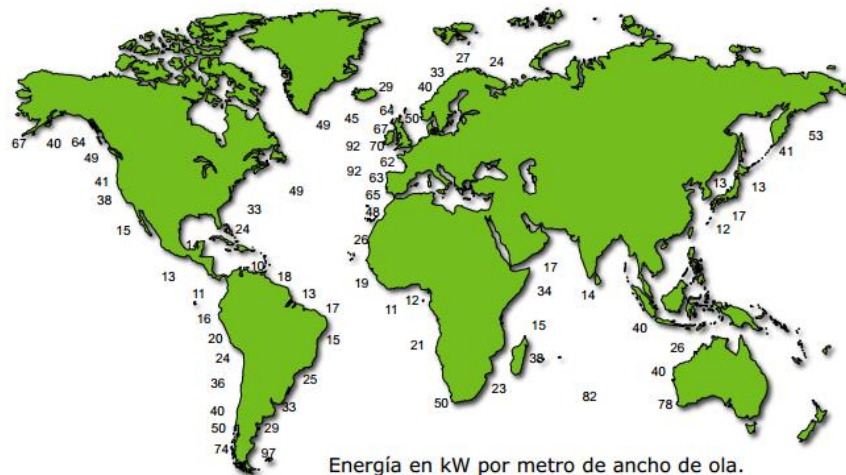
Figura 277 Dispositivo de medida de las características del oleaje



Fuente: Disponible en internet:

<<http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/cursos/contenidos/docpdf/capitulo22.pdf>>

Figura 278 Distribución global de la energía de las olas en kW por m² de ancho de ola



Fuente: Disponible en internet:

<<http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/cursos/contenidos/docpdf/capitulo22.pdf>>

15.5. Tecnología de aprovechamiento.

Ante una presencia de potencia en las olas que todos los días chocan las costas de islas y continentes, se ha tenido una imaginación para algunos dispositivos más ingeniosos y, a veces, más extraordinarios, para captar esta tentadora fuente de energía. Sin embargo, muchos de ellos solo ha llegado a la etapa de diseño y solo una pequeña parte ha sido ensayada y evaluada. Además, son pocos los que han sido ensayados en el mar, y aún menos los que han alcanzado la fase comercial.

Estos dispositivos que van aprovechar la energía que contiene las olas deben captar la energía cinética y/o potencial de las mismas y convertirla de una forma eficiente en otro forma de energía útil, especialmente en energía eléctrica. Pero, el desarrollo de estos aparatos está condicionado por una serie de obstáculos, entre los cuales se pueden señalar:

- ✓ La variación en la amplitud, fase y dirección de las olas; esto hace difícil la obtención de la máxima eficiencia del aparato en todo el rango de frecuencias de excitación.
- ✓ La fuerzas o cargas que pueden haber en la estructural cuando hay condiciones climáticas extremas, tales como huracanes, pueden superar a la carga media en más de 100 veces.

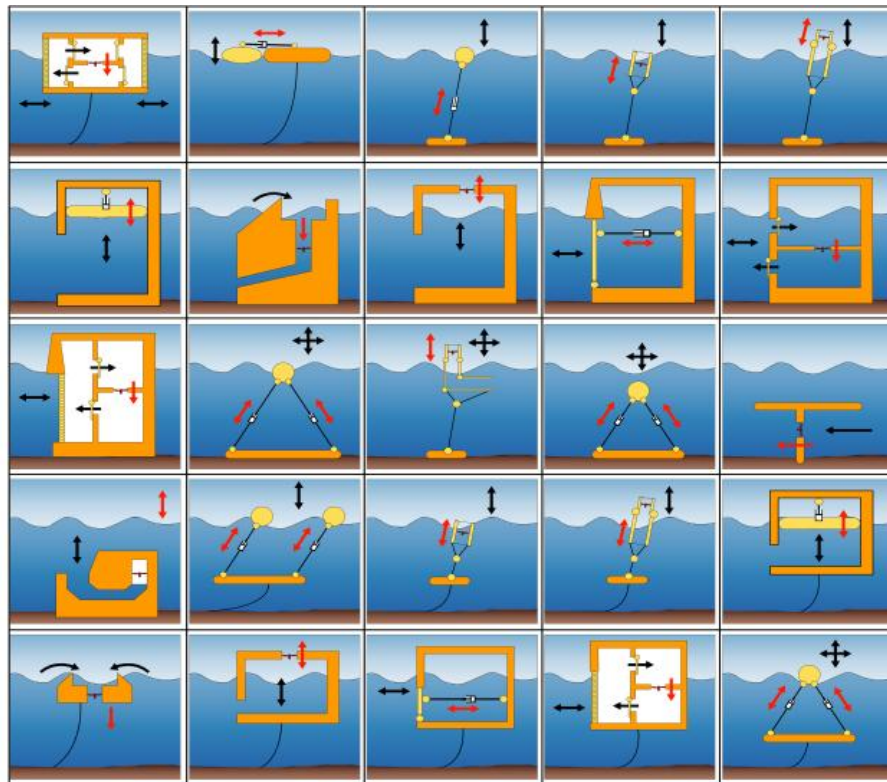
Es indispensable acoplar el lento (tiene una frecuencia alrededor de 0,1Hz) y variado movimiento de una ola con la mayor frecuencia de excitación (cercano a 500 veces mayor) que normalmente hay y se precisan los generadores eléctricos.

Se encuentran miles de patentes que proponen diferentes dispositivos para extraer la energía de las olas (Figura 279). A su vez, hay múltiples criterios para clasificar a los distintos dispositivos que se han diseñado:

- ✓ Uno por la posición relativa de los dispositivos respecto de la costa: situados en la costa, cerca de ella y en alta mar.

- ✓ Otro por su capacidad de extraer energía: pequeña, mediana y gran capacidad.
- ✓ También por su geometría su posición relativa frente al oleaje: por esto hay unos totalizadores o terminadores que son dispositivos largos, que tienen su eje principal paralelo al frente de olas, quiere decir que son perpendicular a la dirección en que las olas se mueven, y que extraen la energía de las mismas de una sola vez; otro son los atenuadores que son dispositivos largos, cuyo eje principal es paralelo a la dirección del movimiento de las olas, es decir, perpendicular al frente olas, y que extraen la energía de forma progresiva; Por su movimiento relativo respecto de las olas: Aparatos de estructura fija o inmóvil, que disponen de una estructura que se fija a la costa o al fondo del mar; y aparatos flotantes o semisumergidos.

Figura 279. Diferentes dispositivos para extraer la energía de las olas



Fuente: Disponible en internet:

<<http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo22.pdf>>

A pesar que los dispositivos de aprovechamiento de la energía del oleaje se pueden colocar en el océano en varias situaciones posibles y localizaciones, la mayoría de ellos se ubican cerca de la costa.

Para los dispositivos de estructura fija, estos son anclados al fondo del mar o en la costa, de forma que la estructura principal no se mueve con el mar. Pero así estén anclados estos aparatos disponen de elementos que pueden moverse respecto de la estructura fija, cuando las olas actúan sobre los mismos, y convierten la energía del oleaje en energía mecánica, la cual se transforma en energía eléctrica.

Estos dispositivos son más fáciles de fabricar que los dispositivos flotantes, sin embargo, presentan varios inconvenientes:

- ✓ El número menor de lugares costeros donde se puedan instalar.
- ✓ Son aquellos que capturan mucho menos energía que los aparatos flotantes que se instalan alejados de la costa, debido a que las olas en aguas profundas disponen de más energía que las olas de las aguas más cercanas a la costa.

15.6. Explotación de la energía de las olas

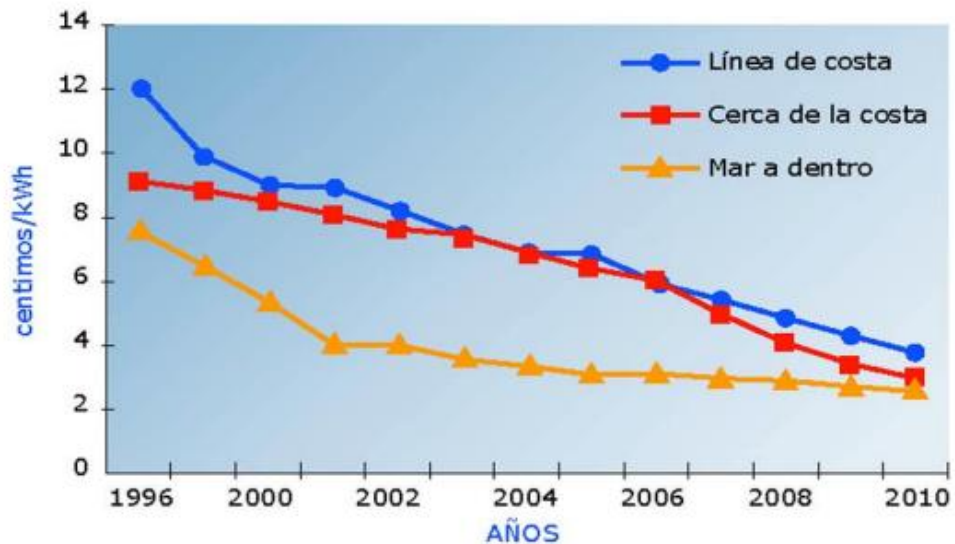
Al explotar la energía del oleaje, como es igual en muchas otras tecnologías renovables, tiene altos costos de inversión. Estos altos costes de capital se deben a la necesidad de construir grandes estructuras para captar una cantidad significativa de energía. Por otra parte, los costos de operación son relativamente bajos en los dispositivos costeros (son bastantes más altos en los aparatos alejados de la costa), ya que no habría algún costo por combustibles, y los costes de operación, reparación y mantenimiento anuales representan muy poco como entre un 3 a un 8 por ciento de los costes de inversión. Pero además habrá costes de seguros que podrán ser altos en los primeros años hasta alcanzar la experiencia en

la tecnología llegue a ser limitada. Esta tecnología que se usa para la energía del oleaje es semejante con la mayoría de las otras tecnologías renovables, solo es rentable si los costos de capital por kW instalado es menor de 1600€.

Una consecuencia de tener mayor costo en el capital inicial es que se puede obtener altos periodos de payback. Este coste de energía obtenida con los aparatos captadores de la energía de las olas es altamente dependiente del interés. Se estima que los aparatos instalados en la costa tengan un coste de la unidad energética generada entre 0,09€/kWh y 0,14€/kWh. Además el costo de los aparatos instalados fuera de la costa presentan una mayor dispersión, pero se estima que se encuentren en el rango comprendido entre 0,18€/kWh y 0,49€/kWh.

Lo único claro que estos costes variarán de un país a otro, e incluso dentro de un mismo país, porque todo depende del potencial del oleaje. La viabilidad económica que pueda existir de la explotación de la energía del oleaje será por tanto diferente de un lugar que en otro. Se está mirando que los costos de la electricidad obtenida con aparatos captadores de la energía del oleaje, y en particular los OWC ubicados en la línea de costa, se están aproximando cada vez más a los costes de la electricidad obtenida mediante el empleo de plantas convencionales de carbón. En la (figura 280) donde se muestra la evolución prevista del coste de la energía producida, puede observarse la tendencia decreciente de los costes, en función del lugar de instalación, los cuales se han determinado considerando un coste de oportunidad del 8%.

Figura 280 Evolución prevista del coste de la energía producida



Fuente: Disponible en internet:

<<http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo22.pdf>>

15.7. Impacto ambiental.

La tecnología que se usa para aprovechar la energía de las olas deben primero resolver una serie de problemas antes de que sean ampliamente usados.

Entre los posibles impactos negativos pueden señalarse los siguientes:

- ✓ Impacto visual. El impacto visual depende del tipo de aparato y la distancia que hay con la costa. Como por ejemplo un sistema de boya flotante o una plataforma situada mar a dentro o un sistema sumergido, no hay mucho impacto visual en ello. Pero si cuando un área depende del turismo, la obstrucción visual es crítica.
- ✓ El ruido. estos sistemas de conversión de las olas producen ruido, a pesar que los niveles presentes son menores que los ruidos de un barco. Cuando están operando a su capacidad máxima, no se espera que sean más ruidosos que el viento o las olas, además, para solucionar esto se puede construir con un buen material aislador de ruidos. Otra cosa es que dicho

ruido generado puede viajar largas distancias debajo del agua y pueden afectar a ciertos animales, como las ballenas, las focas, etc.

- ✓ alteración y destrucción de la vida marina. Los aparatos usados como captación de la energía de las olas pueden tener varios efectos en el comportamiento del oleaje. Esto quiere decir que podría influir en las áreas de línea de costa y en las plantas y animales que viven en ella. Para los sistemas ubicados en tierra requieren importantes modificaciones que afectan al impacto ambiental. Los impactos potenciales incluyen las molestias o destrucción de vida marina (incluyendo cambios en la distribución y tipos de vida marina cerca de la costa).
- ✓ para los aparatos alejados de la costa los efectos, en comparación con los cercanos a la costa, son pequeños (aunque grandes aparatos podrían tener efectos notables)
- ✓ cuando se absorbe toda la energía de las olas, estos aparatos crean aguas en calma a su abrigo produciendo áreas válidas para actividades marinas, comerciales o recreativas.
- ✓ Las estructuras marinas en el océano proporcionan lugares adecuados para que se desarrollen variedad de algas e invertebrados, que podrán colonizar los dispositivos. Por eso desde el punto de vista de la conservación de estos dispositivos, es necesario tener en cuenta algunos aspectos (inyección directa de bióxidos, utilización de productos anti incrustaciones, chorros a presión que desprendan a estos organismos de las estructuras, etc.) que eviten la destrucción de los mismos.
- ✓ Erosión de la costa. Los dispositivos que se utilizan para la captación de la energía de las olas concentran esta energía en áreas antes de su captación (como los sistemas denominados TAPCHAN). Que son aparatos concentradores que originan un incremento de la erosión de la costa. Una reducción de la acción del oleaje en zonas de la línea de costa puede incrementar el depósito de sedimentos.

- ✓ Conflictos con la navegación. Una vez se instalen los sistemas de captación de la energía del oleaje pueden llegar a ser un peligro para cualquier embarcación que no pueda verlos o detectarlos por radar. Para la mayoría de los aparatos, esto podría superarse con técnicas convencionales (por ejemplo, luces, pinturas, reflectores, etc).

15.8. Conclusiones.

En esta sección se explico acerca del origen de las olas con su potencial de energía que se puede aprovechar con el oleaje.

Se han descrito las tecnologías con las cuales se puede explotar este tipo de energía tanto las apropiadas instalaciones en la costa, como las de mar adentro.

Otra parte importante es el obstáculo de los altos costos de inversión de los sistemas de aprovechamiento de la energía de las olas y la tendencia a disminuir que se están dando a los costes de la electricidad obtenida con aparatos captadores de la energía del oleaje.

Además se identificó y explico los efectos positivos y negativos que estas instalaciones pueden tener sobre el medio ambiente.

Para terminar sería importante, tener en cuenta esta forma de energía renovable, ya que a la mayoría no le es de gran agrado por que no genera alguna rentabilidad y más aún para Colombia que tiene la ventaja de tener dos mares a su disposición para la explotación de este tipo de energía.

16. VIABILIDAD DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN COLOMBIA

16.1. Introducción.

Tal y como se ha enunciado a través de las sesiones anteriores, las energías renovables comprenden un gran aporte y desarrollo para el ser humano. Si se utilizan de una manera apropiada e inteligente se puede evitar una crisis energética, la cual puede llegar a producirse en un futuro no muy lejano. Pero, ¿Qué tan viables son las energías renovables en Colombia? La viabilidad (la cual es la capacidad de llevar a cabo algo), se ve dividida en tres importantes subtemas (viabilidad jurídica, viabilidad técnica y viabilidad económica). La viabilidad jurídica, es el tipo de función a la hora de realizar un proceso mediante los requerimientos legales. La viabilidad técnica se analiza ante una idea, para observar si un proyecto se puede llevar a cabo de una manera satisfactoria con la tecnología disponible. Por otra parte, la viabilidad económica determina el coste de la solución óptima y que minimiza el coste de todas las demandas y fuentes. En esta sesión, se determinara, si las energías renovables cumplen estos requerimientos, de manera que se observara si estas energías son viables o no en Colombia.

16.2. Objetivos

16.2.1. General

Proporcionar un análisis, de acuerdo a la investigación realizada, para determinar si las energías renovables son viables en Colombia

16.2.1.1. Específicos

Analizar mediante los conceptos de viabilidad jurídica, técnica y económica los diferentes tipos de energías renovables (solar, hidráulica, biomasa, etc.), en Colombia.

Concluir si las fuentes de energías renovables representar una oportunidad para el desarrollo energético en Colombia.

16.3. Viabilidad Jurídica, técnica y económica de las energías renovables en Colombia.

Si bien el concepto de viabilidad es uno solo, la viabilidad se ve dividida en:

- ✓ Viabilidad jurídica
- ✓ Viabilidad técnica
- ✓ Viabilidad económica

En las siguientes secciones se tratara de estimar si las diferentes fuentes de energías renovables cumplen con cada una de las viabilidades en Colombia, para su avance y desarrollo energético en el país.

Las energías renovables las cuales serán materia del análisis para determinar su viabilidad en Colombia son las siguientes:

- ✓ Energía Solar(térmica y fotovoltaica)
- ✓ Energía Eólica
- ✓ Energía de la Biomasa
- ✓ Energía Hidráulica
- ✓ Energía Geotérmica
- ✓ Energía Mareomotriz

16.3.1. Viabilidad Jurídica de las energías renovables en Colombia.

En materia de la energía en Colombia, existen diversas leyes las cuales ayudan a que se mantenga una revisión constante para promover y asegurar que se optimicen y mejoren las condiciones de los recursos energéticos en el país. Algunas de las leyes creadas para el sector de la energía son las siguientes:

- ✓ Ley 142 de 1994: La cual establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras exposiciones.
- ✓ Ley 143 de 1994: La cual establece el régimen para la generación, interconexión, trasmisión, distribución y comercialización de electricidad en

el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética.

- ✓ Proyecto de Ley 09 de 2012: Por el cual se promueve e incentiva el uso de paneles solares y fotovoltaicos.
- ✓ Ley 697 del 2000: Mediante cual es fomentado el uso racional y eficiente de la energía, y se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.
- ✓ Ley 1715 del 2014: Esta ley es reciente y la cual promueve la regulación de la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional, mediante dos artículos, que valen la pena enunciarlos a continuación:
- ✓ Artículo 1°. Objeto. La presente ley tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. Con los mismos propósitos se busca promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda.
- ✓ Artículo 2°. Finalidad de la ley. La finalidad de la presente ley es establecer el marco legal y los instrumentos para la promoción del aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, lo mismo que para el fomento de la inversión, investigación y desarrollo de tecnologías limpias para producción de energía, la eficiencia energética y la respuesta de la demanda, en el marco de la política energética nacional. Igualmente, tiene por objeto establecer líneas de acción para el cumplimiento de compromisos asumidos por Colombia en materia de energías renovables, gestión eficiente de la energía y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, tales como aquellos adquiridos

a través de la aprobación del estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables (Irena) mediante la Ley 1665 de 2013.

- ✓ Protocolo de Kioto: Colombia también se une a este tratado como la mayoría de países a nivel mundial.

Algunos beneficios para las energías renovables gracias a estas leyes en Colombia son:

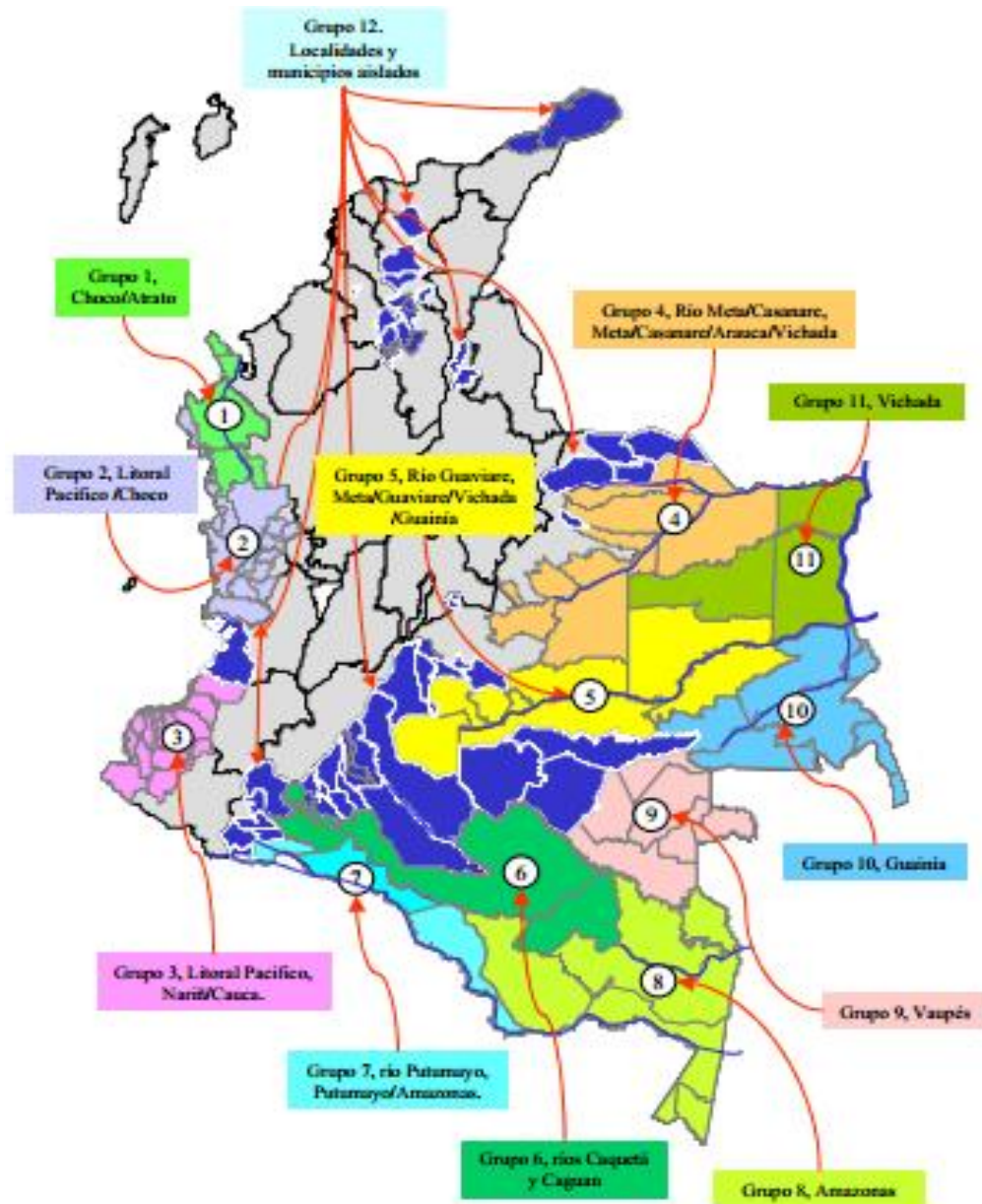
- ✓ Fondo nacional el cual financie parcial o totalmente proyectos y programas que fomenten las energías renovables.
- ✓ Exista algún tipo de incentivos a la investigación, inversión y desarrollo en el campo de estas energías.
- ✓ Exclusión del IVA para equipos, maquinarias, servicios nacionales e internacionales.
- ✓ Incentivos arancelarios en la importación de tecnologías.

16.3.2. Viabilidad Técnica de las energías renovables en Colombia.

En Colombia, se destaca que los recursos naturales con las que cuentan las zonas no interconectadas (figura 281) son numerosos, ya que son varias zonas las que se encuentran dentro del conjunto que no está interconectado a nivel nacional. Generalmente, estas zonas cuentan con:

- ✓ Agua abundante de baja caída.
- ✓ Vientos que se pueden considerar favorables.
- ✓ Radiación solar alta.

Figura 281 Mapa Zonas No interconectadas a nivel Nacional



Fuente: Disponible en internet: Disponible en internet:

<http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:36266/componente36265.pdf>

Otro aspecto a resaltar, es el cual el gobierno nacional a través del Instituto Nacional de Planeación y soluciones energéticas (IPSE), da a las energías alternativas no como una opción sino como una obligación, al implementar programas que conlleven a su desarrollo y más utilización.

El IPSE en términos de sus facultades promueve la implementación de energías alternativas a zonas donde el uso de energía eléctrica es inaccesible para los usuarios, (zonas no interconectadas), ya que al no estar dentro del área de cobertura al sistema de interconexión eléctrica nacional, el uso de energías alternativas representa un gran potencial.

La viabilidad técnica para las energías renovables en Colombia, será analizada de forma independiente para cada tipo de energía.

16.3.2.1. Viabilidad técnica de la energía Solar (térmica y fotovoltaica) en Colombia.

Colombia cuenta con un gran potencial para que la energía solar tenga un amplio desarrollo y diversas aplicaciones. A través de los años estos desarrollos se han visto apoyados por diferentes entes, tal y como es el Estado Colombiano, dando un apoyo institucional y fomentando el uso de las energías alternativas, dando incentivos como descuentos en cuanto al aspecto tributario, los potencia y amplifica de acuerdo a las estrategias que brinda el protocolo de Kioto.

En el territorio nacional, se puede apreciar que las zonas que cuentan con una mayor intensidad solar en las regiones costeras Atlántica-Pacífica, muestran en regiones como la Guajira, un potencial promedio de 5.5 (Kwh. /m²), lo cual indica que este es el mayor potencial del país, y este a su vez va disminuyendo en la dirección sur-oeste, hacia la costa Pacífica, la cual presenta el menor potencial del país con alrededor de 3.0 (Kwh /m²). Si se quiere analizar la región andina, cabe destacar que el mejor potencial de energía solar, está concentrada en los territorios de Magdalena y Valle del Cauca.

Así entonces se puede concluir que Colombia presenta un buen potencial energético solar a nivel nacional, con un promedio cerca del 4.5 (Kwh/m²), lo cual es óptimo para el aprovechamiento de este recurso energético y destacando que la radiación solar se considera uniforme en todo el año.

En cuanto a la energía solar fotovoltaica, esta tiene características similares a la energía solar térmica y puede ser aprovechada en el país de una manera prudente, ya que gracias a las nuevas leyes y disposiciones tanto nacionales como internacionales, se está promoviendo el uso de paneles fotovoltaicos, de manera que estos puedan ser aprovechados en zonas no interconectadas que no cuenten con la energía eléctrica y que puedan ser adquiridos por los clientes.

16.3.2.2 Viabilidad técnica de la energía Eólica en Colombia.

La energía eólica muestra un panorama favorable para su utilización en el territorio colombiano, siendo la zona norte la de mayor potencial, para este tipo de energía, siendo así el departamento de la Guajira (donde se encuentra ubicado el parque eólico Jepirachi), más específicamente en el cabo de la vela, que cuenta con un potencial mayor a los 20000 KW. Otras zonas del territorio nacional que cuentan con potenciales similares son:

- ✓ Nazareth, en Uribia, con 200 kilovatios (KW)
- ✓ La Sabana de Bogotá: Potencial promedio de 15000 KW
- ✓ Islas de San Andrés y Providencia: Cuenta con densidades medias cercanas a los 400 W/m²
- ✓ Los Llanos Orientales

Sin embargo, esto no quiere decir que solo en estas zonas se tenga un potencial llamativo de energía eólica; se han hecho estudios en todo el país (Costa atlántica, Costa pacífica, región de la Orinoquia y la Amazonia), donde se pueden realizar proyectos menores que permitan la generación de energía eléctrica por medio de la conversión de la energía eólica.

Actualmente se están desarrollando estudios para determinar si es viable o no la construcción de más parques eólicos en los siguientes territorios:

- ✓ Alta Guajira: Exactamente en zonas como: Flor de la Guajira, Iche pup y Fepichien.

- ✓ Boyacá
- ✓ Santander
- ✓ Valle del Cauca
- ✓ Huila
- ✓ Risaralda

Un aspecto positivo, es que la dirección magnitud y sentido de los vientos se considera constante a través del año, lo que significa que el potencial de energía eólica tenga una variación casi nula, prácticamente generando la misma energía en todo el año.

16.3.2.3. Viabilidad técnica de la energía de la Biomasa en Colombia.

La biomasa en Colombia es una de las más beneficiadas ante la nueva ley que promueve el uso de energías renovables. Con esta nueva ley, se abre un nuevo espacio para utilizar la biomasa residual y la biomasa que proviene de los recursos energéticos, los cuales promueven:

- ✓ Electricidad renovable a la red
- ✓ Calor para el autoconsumo

En cuanto al potencial de la energía de la biomasa en Colombia pueden destacarse residuos agrícolas como:

- ✓ Banana
- ✓ Desperdicios de animales
- ✓ Pulpa de café
- ✓ Cascarilla de arroz

En adición, en Colombia se están desarrollando estudios para el aprovechamiento del bagazo de caña el cual produce cerca de 1.5 millones de toneladas en el año. Por otra parte la cascarilla de arroz llega a las 500 mil toneladas anualmente. Los recursos energéticos de la biomasa dentro de un panorama global superan los

15000 Mwh, lo cual representa solamente cerca del 0,1 % de la energía eléctrica generada actualmente. Si se quiere observar los recursos energéticos que produce la biomasa, cada uno de forma independiente, estos son enunciados a continuación:

- ✓ 12,000 Mwh/año de residuos agrícolas
- ✓ 2,700 Mwh/año de bioetanol
- ✓ 700 Mwh/año provenientes de los residuos de zonas forestales
- ✓ 650 Mwh/año de biodiesel
- ✓ 450 Mwh/año de los residuos de los bosques

Por otra parte, en todo el territorio nacional hay zonas potenciales para la producción de biomasa y la generación de electricidad. Existen millones de hectáreas con potenciales elevados, para la plantación de cultivos y demás que ayuden a producir altos porcentajes de biomasa, que a su vez me genere electricidad suplir las necesidades energéticas que el país pueda llegar a requerir.

La biomasa en Colombia, al igual que la energía solar y la energía eólica, es apenas un panorama que está siendo explorado, pero que a futuro seguramente propondrá una solución energética favorable y al igual que las energías que hemos enunciado anteriormente(solar y eólica), los recursos energéticos de la biomasa prácticamente son considerados constantes en todo el año.

16.3.2.4. Viabilidad técnica de la energía Hidráulica en Colombia.

Colombia tiene un panorama privilegiado, desde el punto de vista hidrológico, lo cual conlleva a tener un gran potencial a la hora de desarrollar proyectos para el aprovechamiento hidráulico.

Tal vez, esta energía renovable es de las más viables en el país, ya que en Colombia, la generación de energía supera los 13 GW de los cuales, el sector hidráulico representa el 65%(8.45 GW).

La mayoría de esta generación hidráulica en Colombia, viene de centrales hidroeléctricas, siendo estas centrales capaces de llegar a producir el 80% de la energía cuando sea necesario.

Estas centrales hidroeléctricas están distribuidas a lo largo del país, lo cual contribuye a que la energía hidráulica cuente con recursos en todo el territorio nacional, situándose el potencial más alto en la región Andina. Algunos de las centrales hidroeléctricas y proyectos más importantes en Colombia son:

- ✓ Central Hidroeléctrica San Carlos: Ubicada en el departamento de Antioquia. Actualmente es la central hidroeléctrica de mayor capacidad en Colombia (1240 MW).
- ✓ Central Hidroeléctrica del Guavio: Ubicada en el departamento de Cundinamarca. Es la segunda hidroeléctrica del país, y es capaz de producir alrededor de 1210 MW.
- ✓ Central Hidroeléctrica de Chivor: Ubicada en el departamento de Boyacá. Es la tercera en el orden después de la central San Carlos y el Guavio (capacidad de 1000 MW).
- ✓ Central Hidroeléctrica Jaguas: Ubicada en el departamento de Antioquia y la cual cuenta con una capacidad de 170 MW.
- ✓ Central Hidroeléctrica Calderas: Ubicada en el departamento de Antioquia con una capacidad de 26 MW.
- ✓ Central Hidroeléctrica Miel I: Ubicada en el departamento de Caldas con capacidad cercana a los 400 MW.
- ✓ Central Hidroeléctrica Rio Amoya: Ubicada en el departamento del Tolima, con capacidad para 80 MW.
- ✓ En adición a esto el proyecto Hidrosogamoso, el cual ya está en su etapa de culminación y está ubicado en el departamento de Santander, el cual se espera que tenga una capacidad mayor a los 800 MW.

Por otra parte hay otros proyectos que se encuentran en estudio, lo cual ayudaría aún más al desarrollo energético del país en cuanto a la energía hidráulica se refiere si estos proyectos son llevados a cabo con éxito. Algunos de estos proyectos son:

- ✓ Proyecto Hidroeléctrico Cañafisto: Ubicada en el departamento de Antioquia.
- ✓ Proyecto Hidroeléctrico Samaná: Ubicado en el departamento de Antioquia.
- ✓ Proyecto Hidroeléctrico Piedra del Sol: Ubicado en el departamento de Santander.

La energía hidráulica en Colombia, al igual que las energías renovables descritas anteriormente se puede tomar como constante durante todo el año.

16.3.2.5. Viabilidad técnica de la energía Geotérmica en Colombia.

En el aspecto de la energía geotérmica, Colombia tiene un tesoro en bruto que explotar.

Esto es debido a que en el territorio nacional se encuentran más de 10 volcanes activos, donde las temperaturas elevadas que están ubicadas dentro de ellos, suponen un gran potencial, si se quiere desarrollar proyectos de tipo geotérmico.

Para que se produzca un óptimo desarrollo de esta energía en el país, Colombia formo una alianza con el país del Ecuador, para que se desarrollen estudios, que permitan determinar energía en las zonas fronterizas tales como (chiles, tufiño y cerro negro). Si en este proyecto se determina que es viable, podría llegar a producir, hasta 150 MW, y lo mejor; con un bajo impacto ambiental.

Por otra parte, se han identificado otras zonas potenciales en el país, que también podrían generar una cantidad bastante importante de energía. Algunas de estas zonas son:

- ✓ Volcán Azufra: Ubicado en el departamento de Nariño.
- ✓ Volcán Nevado de Santa Isabel: Ubicado en tres departamentos (Caldas, Risaralda y Tolima).

- ✓ Volcán Nevado del Ruiz: Ubicado en los límites de los departamentos Caldas y Tolima.

Lamentablemente estos proyectos hasta ahora se encuentran en estudio lo cual, aun no se tiene información que lleve a determinar si esta energía es viable en Colombia.

16.3.2.6. Viabilidad técnica de la energía Mareomotriz y de las Olas en Colombia.

Si antes se había hablado de que las energías renovables en Colombia (excepto la energía hidráulica y de la biomasa), eran aun un panorama prácticamente desconocido en Colombia, la energía mareomotriz y de las Olas es la energía de la cual, menos se tiene información y menos se ha investigado en el territorio nacional.

Sin embargo, Colombia cuenta con posibles zonas de una central mareomotriz, las cuales se pueden visualizar en la tabla 11. Pudiéndose observar que el océano pacífico es donde se encuentran posiblemente las zonas con más alto potencial de posible desarrollo energético en cuanto a la energía mareomotriz.

Tabla 11 Posibles Zonas de desarrollo de la energía mareomotriz y de las Olas

| | |
|---------------------------|-----------------|
| <i>Ensenada de Utria</i> | Chocó |
| <i>Ensenada Catripe</i> | Chocó |
| <i>Boca Virudò</i> | Chocó |
| <i>Rio Baudò</i> | Chocó |
| <i>Bocana Usaragà</i> | Chocó |
| <i>Rio Docampado</i> | Chocó |
| <i>Bahía Ijua</i> | Chocó |
| <i>Bahía Málaga</i> | Valle del Cauca |
| <i>Boca Cajambre</i> | Valle del Cauca |
| <i>Boca de Yurumangui</i> | Valle del Cauca |
| <i>Boca Naya</i> | Cauca |
| <i>Río Guandipa</i> | Nariño |
| <i>Bocana Hoja Blanca</i> | Nariño |
| <i>Bocana Del Rosario</i> | Nariño |
| <i>Chilvi</i> | Nariño |

En cuanto al océano atlántico, el lugar que cuenta con mayor potencial es la Península de la Guajira, para la explotación de las energías de las olas en Colombia, con aproximadamente 12 KW/m², pero lamentablemente este porcentaje no alcanza para el mínimo requerido (15 KW/m²).

Por lo tanto, este tipo de energía al igual que las demás energías renovables, puede que sea beneficiosa para el país, pero para llegar a una aplicación de este tipo, se ve todavía un panorama muy lejano.

16.3.3. Viabilidad Económica de las energías renovables en Colombia.

La generación de energías renovables en Colombia corresponde a un sector el cual no está muy reconocido y el cual a nivel de información no se ha difundido mucho a nivel nacional, causando en la mayoría de zonas un desconocimiento de cómo se pueden aprovechar este tipo de energías.

El coste medio de la energía generada por estos medios, si se hace una comparación en cuanto a la energía eléctrica tradicional, supera en un valor amplio el valor medio de la energía que es dada por el sistema de interconexión nacional.

Un aspecto positivo es que algunas empresas se han empezado a preocupar por desarrollar proyectos energéticos que utilicen energías renovables. Una de estas empresas es energreencol, Isagen (siendo esta quizá, la empresa más importante para la producción de energía en el país), EPM, entre otras (energías renovables en Colombia), las cuales tienen como misión de convertirse en una de las empresas pioneras de demostración de la viabilidad técnica y económica de un modelo energético sostenible.

Estas empresas en actividades energéticas consolidan sectores productivos y garantizan el crecimiento del sector de energías renovables en Colombia, en un corto, mediano y largo plazo.

Así, con esta empresa pionera, hace un llamado a que crezca la competencia en cuanto a las energías renovables, lo cual lograría una disminución de costos y una eficiencia cada día más óptima, lo cual lleva a que en el territorio nacional cada día sea más viable económicamente estas energías.

Al igual que como se observó en la sección anterior se analizarán independientemente algunos aspectos de la viabilidad económica de las energías renovables en Colombia.

16.3.3.1. Viabilidad económica de la energía Solar (térmica y fotovoltaica) en Colombia.

Cabe resaltar que los proyectos de generación de energía solar son muy escasos o casi nulos, los cuales tienen consecuencias de no generar una cantidad considerable de energía.

Un aspecto, el cual no es tan positivo, es que en Colombia no existe producción nacional de equipos destinados a la generación de energías renovables. Los equipos que son necesarios para desarrollar este tipo de proyectos energéticos, son importados de países europeos (generalmente España o Alemania) y Estados Unidos.

De acuerdo a estos datos la energía solar sería viable, pero bajo ciertas condiciones y aspectos a considerar. Actualmente la mayoría de aplicaciones y usos de la energía solar en Colombia, son sistemas de baja y media potencia, ya que de acuerdo a los costos y condiciones sería un tema riesgoso la construcción de una central solar en el territorio nacional.

16.3.3.2. Viabilidad económica de la energía Eólica en Colombia.

Para la energía eólica, el panorama en Colombia es un poco más positivo que para la energía solar. Ya que el gobierno y algunas empresas independientes le están apostando a este tipo de energía, ya que como se observó en la sección anterior, también cuenta con un gran potencial en el territorio Colombiano.

Hacia el año 2012 se invirtieron más de 90 mil millones para la generación de energía eólica en el país.

Algunas empresas que le están apostando a la generación de energía eólica son las siguientes:

- ✓ Empresas públicas de Medellín (EPM)
- ✓ Isagen
- ✓ Emgesa

La energía eólica es una energía que es económicamente viable en el país, ya que a diferencia de la energía solar, más empresas se han preocupado por su desarrollo y avance tecnológico, creando importantes proyectos en el país, los cuales han venido dando resultados positivos, lo que implica que crezca la demanda y el interés hasta este tipo de energía.

16.3.3.3. Viabilidad económica de la energía de la Biomasa en Colombia.

La producción de biomasa en Colombia requiere una inversión anualmente de cerca de 2000 USD por KW, los cuales por las leyes que se están implementando, se verán reducidos de una manera significativa y si se tienen en cuenta los beneficios e incentivos actuales, esta energía se convierte en una candidata a firme a ser llamada una solución en términos energéticos para el país.

Utilizar biomasa, ya sea para generar calor o electricidad es una gran oportunidad para los usuarios que quieren buscar su independencia de los precios de los combustibles y las tarifas que cada día están subiendo globalmente. Gobiernos como el colombiano, están dejando a un lado los subsidios a la energía fósil y están prestando más atención y empeño al fomento de las energías renovables.

Todos estos factores positivos enunciados anteriormente convierten a la energía de la biomasa, una de las energías renovables más viables no solo en Colombia sino a nivel latinoamericano.

16.3.3.4. Viabilidad económica de la energía Hidráulica en Colombia.

En Colombia, la inversión de energía hidráulica supera los 15 millones de dólares actualmente. Estos dineros, los cuales en su mayoría provienen de empresas privadas y del gobierno son destinados a la culminación de los proyectos que se tienen y a la búsqueda de más cuencas, donde se posibilite la construcción de represas que contribuyan a una generación de energía mayor.

Otro aspecto que genera que la energía hidráulica sea una energía muy viable en Colombia es la gran oferta y demanda que se tiene por parte de las empresas que cada día se interesan más por el desarrollo de estos recursos hídricos en el país. Algunas de las empresas que más se fortalecen en el sistema hidráulico son:

- ✓ Isagen
- ✓ Emgesa

Si bien es cierto que el mayor porcentaje de energía hidráulica en Colombia corresponde a centrales hidroeléctricas, estas reducen los costos de operación. Pero hay un aspecto no tan positivo que debe señalarse. Esta energía es vulnerable, si se presenta una condición de sequía.

La energía hidráulica, es una energía que se ve compensada, ya que al principio los costos durante la construcción de represas y centrales, son costosos, pero esto se ve compensado, gracias a que los costos de operación son bajos, lo que hace que la recuperación de lo invertido, se lleve en un proceso no demasiado extenso.

Prácticamente la energía hidráulica, junto con la energía de la biomasa, tal vez sea la energía renovable más viable en el país, ya que sus bajos costos a largo plazo y el interés de muchos sectores energéticos del país, hacen que sus costos se vean reducidos notablemente.

16.3.3.5. Viabilidad económica de la energía Geotérmica en Colombia.

Como ya se mencionó anteriormente, los gobiernos de Colombia y el Ecuador se han unido para desarrollar un ambicioso proyecto en las zonas fronterizas entre los dos países, lo cual su inversión, solamente en su primera etapa sería de 4 millones de dólares (alrededor de unos 8 mil millones de pesos), siendo el aporte de 50% para cada uno de los países.

Si este proyecto logra obtener unas condiciones óptimas para su desarrollo, la inversión puede llegar a ser de 400 millones de dólares (800 mil millones de pesos).

Aun estos proyectos, están en su fase de planificación y verificación, para determinar si se cumplen con los requerimientos (se tienen planeado una central que genere cerca de 100 MW), lo cual hasta este momento hace imposible determinar si esta energía en Colombia es viable.

16.3.3.6. Viabilidad técnica de la energía Mareomotriz y de las Olas en Colombia.

En el panorama de la energía Mareomotriz y de las Olas, no se tienen datos exactos de cuál puede ser el costo de una central en el país. Sin embargo, unos cálculos aproximados se pueden visualizar en la figura 282.

Figura 282 Comparativa para diversas zonas con posibilidad de central mareomotriz

| Alternativa | Bahía Málaga | Boca Virudó | Ensenada Catripe | Boca Yarumanguí | Río Baudó |
|---|----------------|---------------|------------------|-----------------|---------------|
| Costo total del proyecto (US\$) | 639.375.000,00 | 40.692.500,00 | 51.150.000,00 | 81.375.000,00 | 43.012.500,00 |
| Costo del kilovatio instalado (US\$/kW) | 4.000,00 | 2.300,00 | 2.325,00 | 2.542,00 | 3.072,00 |
| Costo medio de energía (US\$/kWh) | 1,84 | 1,04 | 1,07 | 1,17 | 1,42 |

Fuente: Disponible en internet: <<http://es.slideshare.net/kauribe/generacin-mareomotriz-13701199>>

La energía mareomotriz y la energía de las olas, presenta muy poca iniciativa en Colombia, y debido a los pocos estudios que se tienen de ella, se puede pensar que tal vez sea viable (bajo ciertas condiciones), pero que su implementación en el país debe esperar un largo tiempo.

16.4. Conclusiones.

- ✓ Para demostrar si las energías renovables son viables en Colombia, estas deben analizarse de forma independiente. Hay tres tipos de viabilidad (jurídica, técnica y económica). La viabilidad jurídica detalla las leyes bajo las que está regido un proyecto. La viabilidad técnica, explica los recursos con los que un proyecto puede llevarse a cabo, y finalmente la viabilidad económica, relaciona los costos de inversión con la posibilidad de que estos sean recuperados en un tiempo determinado.
- ✓ En Colombia existen diversas leyes que promueven y regulan las energías. Siendo la ley 1715 del 2014 la más reciente, la cual promueve el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, para su adecuado uso y utilización.
- ✓ Colombia cuenta con varias ZNI (zonas no interconectadas), donde el uso de energías renovables, es una gran alternativa para todas las personas que se encuentren dentro de ellas y que aún no cuenten con el suministro eléctrico.
- ✓ Desde el punto de vista de la viabilidad técnica y económica, algunas energías renovables pueden considerarse viables y otras aun, ni siquiera cuentan con proyectos que hagan pensar que esta energía pueda traer grandes beneficios para el país.
- ✓ Las energías renovables más viables en Colombia son: la energía hidráulica y la de biomasa, seguido de la energía eólica y solar.
- ✓ Por otra parte, las energías como la geotérmica, mareomotriz y de las olas, son energías casi desconocidas en Colombia, las cuales por ahora solo se investigan

para determinar posibles lugares donde se pueda lograr un óptimo aprovechamiento de este tipo de energías.

- ✓ Cada una de estas energías tiene sus aspectos técnicos y socio económicos tanto positivos como negativos; por eso a la hora de implementar una energía de estas en cualquier zona del país, se deben desarrollar los estudios pertinentes, para tratar de que la generación de energía, sea la más óptima, limpia, y menos perjudicial para con el medio ambiente.

17. MODELAMIENTO DE SISTEMAS DE ENERGÍAS RENOVABLES, ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y ENERGÍA EÓLICA, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE MATLAB.

17.1. Introducción.

El modelamiento de sistemas energéticos de energías renovables es un campo que ha tomado un gran avance en los últimos años, principalmente en países desarrollados donde se ha visto la necesidad de implementar modelos de sistemas alternativos a las fuentes de energía convencionales. En muchos casos estos sistemas tienen un costo relativo alto, y su inversión es recuperada a largo plazo, sin embargo es necesario el estudio, la investigación, el desarrollo y la optimización de estos tipos de modelamientos de sistemas energéticos a bases de energías renovables.

Las fuentes energéticas más viables para el modelamiento y la optimización son comúnmente la energía solar fotovoltaica y la energía eólica, ya que están representando uno de los métodos más simples para la generación de energía eléctrica a partir de la energía renovable. En este capítulo se optimizará los sistemas de energía solar fotovoltaica y energía eólica mediante la utilización del software Matlab para una región determinada. Esta optimización estará basada en un artículo de la editorial científica ELSEVIER, llamado *Optimal sizing study of hybrid wind/PV/diesel power generation unit*.

17.2. Objetivos.

17.2.1. Objetivo general.

- ✓ Optimizar los sistemas energéticos de energías renovables como la energía solar fotovoltaica y la energía eólica para una región determinada.

17.2.1.1. Objetivos específicos.

- ✓ Desarrollar un programa en Matlab que permita establecer la potencia generada de un panel fotovoltaico y para una turbina eólica, ambos tomados de un fabricante, para su posterior comparación.
- ✓ Establecer los costos en el programa de Matlab de los sistemas de energía fotovoltaica y de energía eólica para analizar la viabilidad de implementación de estos sistemas en la región.

17.3. Descripción general del programa y sus características.

El programa en el software Matlab sobre la optimización de los sistemas de energía solar fotovoltaica y energía eólica fue basado y creado bajo el análisis del artículo llamado *Optimal sizing study of hybrid wind/PV/diesel power generation unit* de la editorial científica ELSEVIER. Los autores de este artículo son los siguientes: Rachid Belfkira, Lu Zhang, Georges Barakat. Este artículo se adjunta como un anexo en este trabajo de grado para cualquier consulta.

El ingeniero mecánico debe tener en cuenta diversos aspectos cada vez que busque implementar alguna de sus aplicaciones creadas. De forma más específica; es necesario considerar el costo económico a corto y largo plazo, para así evaluar la viabilidad o no de lo realizado.

Con esto en mente se realizó no solo la viabilidad energética de implementar un sistema de generación de energía híbrido (Eólica y Solar) sino también su impacto en el bolsillo del consumidor. Trayendo consigo importantes conclusiones.

Para este estudio se utilizó la herramienta computacional MATLAB®, un paquete muy conocido en nuestro medio.

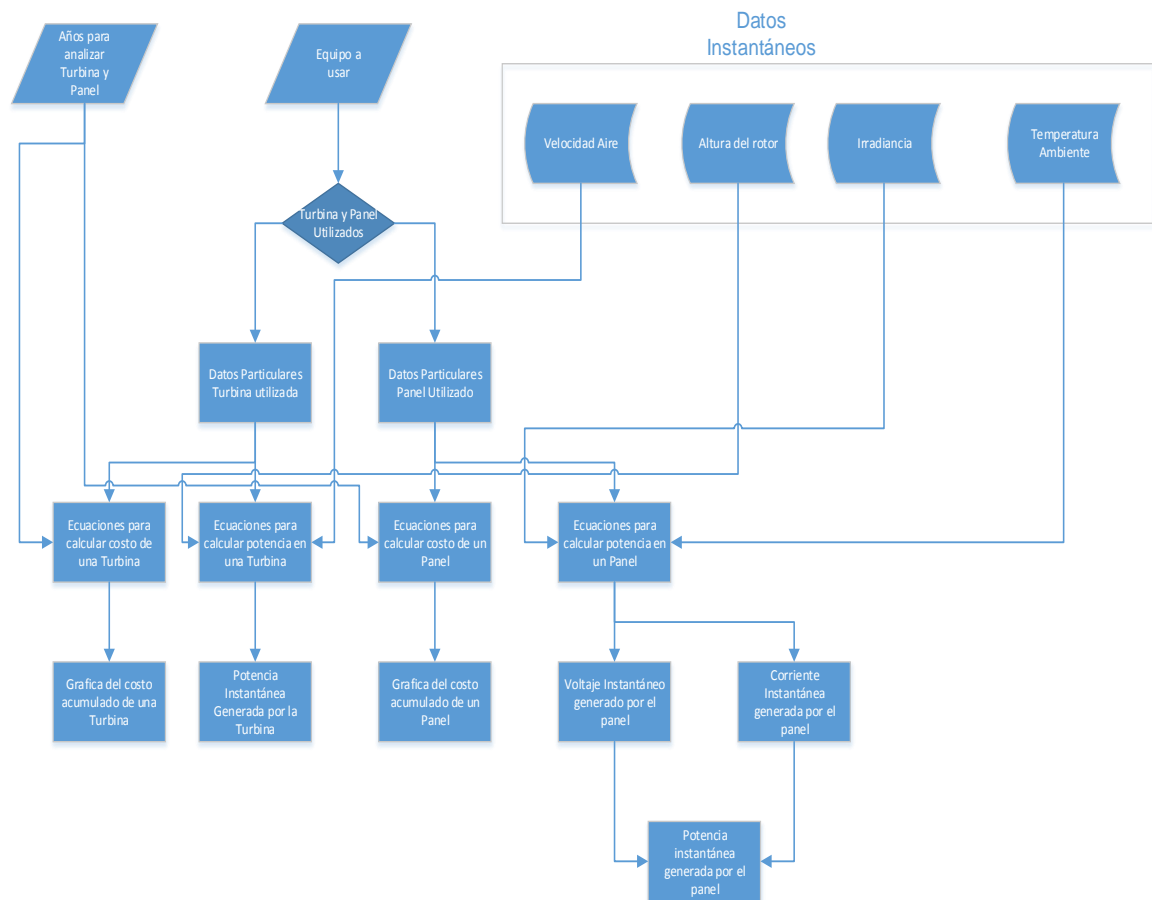
De forma específica se plantearon dos puntos de vista, el primero de ellos es el económico, en el cual se puede observar que la gran desventaja de las energías verdes en aplicaciones domésticas es el costo inicial, siendo este muy alto. Sin embargo como gran ventaja se encuentra que su mantenimiento es relativamente económico.

El segundo punto planteado fue la viabilidad energética, para este caso se realizó los análisis del consumo energético que una casa rural santandereana con cuatro habitantes. Tanto la demanda energética como la generada por parte de la turbina eólica y el panel solar, fueron realizadas con una diferencia de 10 minutos entre ellas y en un total de 24 horas.

Pudiendo encontrar estos medios de generación como una gran alternativa no solo para esos lugares de difícil acceso donde no hay disponibilidad de una línea de energía, sino también en lugares que buscan contribuir al cuidado del medio ambiente.

A continuación por medio de un diagrama de flujo podremos ver el algoritmo utilizado para concluir lo mencionado en el primer análisis, también llamado "Costos Híbrido", el cual se aprecia en la figura 283.

Figura 283. Diagrama de flujo costos híbridos



Este código "Costos Híbrido" busca principalmente establecer el valor de la implementación de cualquiera de estos dos sistemas, sin dejar de un lado una pequeña aplicación para determinar las potencias instantáneas generadas.

Para la parte de los costos, se toma el panel y turbina respectivos, y la cantidad de años en los cuales se desea valor el costo. Pues el valor del mantenimiento viene por defecto por cada año. Realizando el debido proceso a estos obtenemos como resultados un gráfico donde se puede observar la manera como aumenta el costo acumulado del sistema de generación.

De forma individual se encuentran los cálculos para determinar la potencia inmediata generada por cada uno de los sistemas. Para determinar la generada por el panel es necesario introducir la temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$) y la irradiación (W/m^2), obteniendo como resultado el voltaje y la corriente, cuyo resultado proporciona la potencia instantánea generada. En el caso de la turbina solo debe introducirse como dato instantáneo la velocidad promedio del aire (m/s) y la altura del rotor (m).

Después de esta breve explicación, es expuesto el código que realiza todas estas acciones.

```
Ta=str2double(get(handles.edit2,'string')); %Temperatura ambiental en °C
Panel=get(handles.popupmenu1,'value');%Seleccione el panel deseado
(Especificaciones previamente introducidas como matriz)

Especificaciones_Panel=[33.2 8.85 26.6 7.9 47.9 333.59 33.2 3.32;33.2 8.78
26.6 8.09 47.9 442.31 44.2 4.42;36.6 8.09 29.3 7.52 45 447.56 44.8 4.48;36.8
8.09 29.3 7.71 45 467.8 46.8 4.68;];
Voc=Especificaciones_Panel(Panel,1);% tension en vacio del panel
fotovoltaico
Isc=Especificaciones_Panel(Panel,2); %corriente de cortocircuito del panel
fotovoltaico
Vmax=Especificaciones_Panel(Panel,3);%tension maxima del panel
fotovoltaico a las condiciones de funcionamiento de referencia
Imax=Especificaciones_Panel(Panel,4);% corriente maxima del panel
fotovoltaico a las condiciones de funcionamiento de referencia
NOCT=Especificaciones_Panel(Panel,5);% temperatura normal de operacion
celular
Cost_Inicial=Especificaciones_Panel(Panel,6)*2700; %Costo de compra de los
equipos
```

```

Cost_Insta=Especificaciones_Panel(Panel,7)*2700; %Costo Instalacion del
sistema
Cost_Mttoyear=Especificaciones_Panel(Panel,8)*2700; %Costo Mantenimiento
por año

GT=str2double(get(handles.edit12,'string'));%%Irradiacion horaria sobre
una superficie Inclineda (W/m^2)
%Tomada desde las 9:20 am; hasta 2:20 pm

Tc=Ta+(((NOCT-20)/(800))*(GT)); %Temp de operacion del panel (°C)
Tc_ref=25; %Temperatura de referencia en condiciones de operacion (°C)
Delta_T=Tc-Tc_ref;% Diferencial de Temperatura
G_ref=1000; %Irradiacion de referencia en condiciones de operacion (W/m^2)
MI_SC=0.7; %Coeficiente de temperatura para la corriente de corto circuito
(A/°C)
Delta_I=(Isc*(((GT)/(G_ref))-1))+(MI_SC*Delta_T); %Diferencial de
corriente
C2=((Vmax/Voc)-1)*(1/(log(1-(Imax/Isc))));%Constante 2
C1=(1-(Imax/Isc))*(exp(-(Vmax)/(C2*Voc))); %Constante 1
Impp=(Isc*(1-(C1*(exp((Vmax)/(C2*Voc))-1))))+Delta_I;%Corriente en el
panel fotovoltaico en el punto maximo de potencia
MV_SC=0.7;%Coeficiente de temperatura para voltaje de circuito abierto
Vmpp=(Vmax)+(MV_SC*Delta_T); %Voltaje del panel en el maximo punto de
potencia
Pmpp=Vmpp.*Impp; %Potencia del panel en el maximo punto de potencia

VmppPROM=mean(Vmpp); %Voltaje promedio en el panel
ImppPROM=mean(Impp); %Corriente promedio en el panel
PmppPROM=mean(Pmpp); %Potencia promedio en el panel

set(handles.edit3,'string',VmppPROM);
set(handles.edit4,'string',ImppPROM);
set(handles.edit5,'string',PmppPROM);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

Years=str2double(get(handles.edit1,'string'));; %Insertar cantidad de años
Costo(1)=Cost_Inicial+Cost_Insta+Cost_Mttoyear; %Primer año
for i=2:Years
    Costo(i)=Costo(i-1)+Cost_Mttoyear; %Años consecutivos
end
Costo;
Year=(0:1:(Years-1));%Años cumplidos analizados

axes(handles.axes4)
plot(Year,Costo);
hold on
grid on
title('Relacion Costos COP/Años');

```

El segundo programa tiene como nombre “Ejemplo Híbrido” y tiene como propósito determinar qué tan viable es la implementación de uno o dos de estos sistemas de generación, de acuerdo a una demanda específica. Cabe resaltar que se usaron de forma predeterminada el valor del viento instantáneo en Bucaramanga/Santander y la irradiación sobre una superficie inclinada para un lapso de 24 horas.

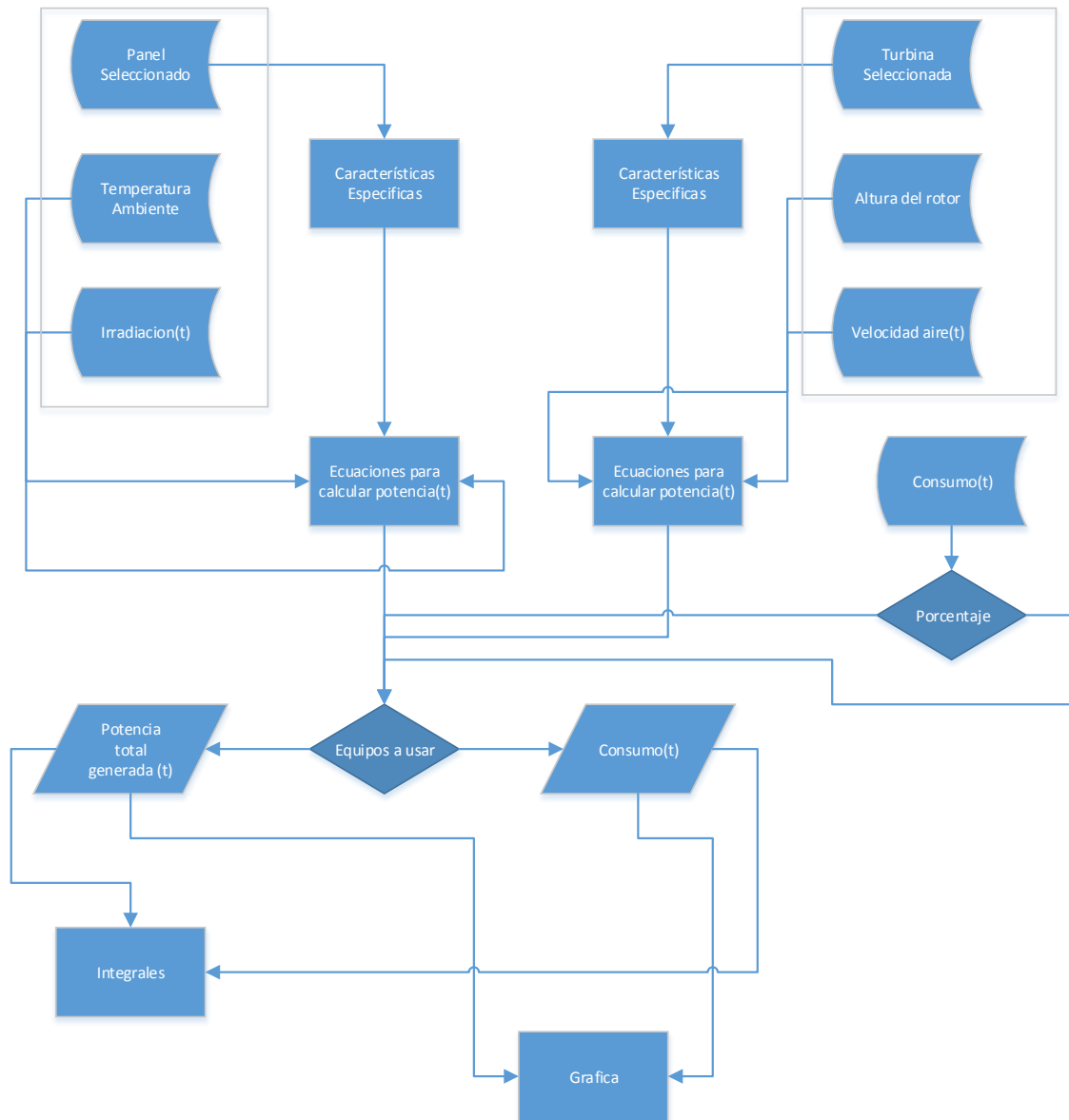
Para cumplir con el objetivo es necesario introducir una serie de datos y especificar características tales como; altura de rotor (Turbina eólica), temperatura ambiente (Panel solar) y equipos usados (Turbina y Panel). Siendo estos últimos muy necesarios para determinar las características específicas de cada modelo.

De igual forma es necesario determinar cuáles de estos equipos se desean implementar (Ambos, uno o ninguno) y el porcentaje de la demanda a cubrir (100% o 50%).

Después de introducir esto se obtiene como resultado una gráfica con la implementación de la demanda y la generación junto a las áreas bajo la curva, necesarias para concluir si se cumple o no con lo deseado.

Para una mejor comprensión en la figura 284, se especifica el diagrama de flujo de “Ejemplo Híbrido”

Figura 284 Diagrama de flujo ejemplo híbrido



Ya determinado el proceso usado, es necesario conocer el código que realiza este procedimiento.

```
Consumo_TOTAL=[820 820 820 820 820 820 820 820 820 820 820 820 820 820 820
820 820 820 820 820 820 820 820 820 820 820 820 820 820 820 1540 1540
1540 2004 2004 2004 2054 2054 2054 1404 804 804 804
804 804 804 804 804 804 804 804 804 804 804 804 804 804 804 804 804 804 804
804 804 804 804 1404 1404 1404 1404 1404 1404 1404 1404 1404
1404 1404 1404 1404 1284 1284 1284 1284 1284 1284
1284 1284 1284 1284 1284 1284 1284 1284 1284 1284
1284 1284 1284 1284 1284 1284 1284 1284 684 684 684
684 684 684 1284 1284 1284 1284 1284 1284 1284 2484 2484
2484 2484 2484 2484 1284 1284 1284 1284 1284 1284
1420 1420 1420 1420 1420 1420 820 820 820 820 820 820
820 820 820 820 820]
Consumo_Medio=Consumo_TOTAL./2; %50% del consumo

%%
Panel=get(handles.popupmenu1,'value'); %Seleccione el panel deseado
(Especificaciones previamente introducidas como matriz)
Ta=str2double(get(handles.edit1,'string')); %Temperatura ambiental en °C

Especificaciones_Panel=[33.2 8.85 26.6 7.9 47.9 333.59 33.2 3.32;33.2 8.78
26.6 8.09 47.9 442.31 44.2 4.42;36.6 8.09 29.3 7.52 45 447.56 44.8 4.48;36.8
8.09 29.3 7.71 45 467.8 46.8 4.68;];
Voc=Especificaciones_Panel(Panel,1);% tension en vacio del panel
fotovoltaico
Isc=Especificaciones_Panel(Panel,2); %corriente de cortocircuito del panel
fotovoltaico
Vmax=Especificaciones_Panel(Panel,3);%tension maxima del panel
fotovoltaico a las condiciones de funcionamiento de referencia
Imax=Especificaciones_Panel(Panel,4);% corriente maxima del panel
fotovoltaico a las condiciones de funcionamiento de referencia
NOCT=Especificaciones_Panel(Panel,5);% temperatura normal de operacion
celular
```

```

GT=[0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0;0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0; 0 0 0
0 0 0; 300 250 350 450 457 455; 456 560 667 704 720 710; 680 735 754 785
799 780; 803 820 740 650 700 801; 821 789 812 800 890 830; 840 609 700 805
835 800; 806 840 889 870 904 910; 911 930 870 890 907 920; 933 910 870 897
901 890; 902 914 970 870 830 791; 803 707 730 761 809 770; 760 680 640 690
440 407; 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0;
0 0 0 0 0 0 ];
Tc=Ta+(((NOCT-20)/(800)).*(GT)); %Temp de operacion del panel (°C)
Tc_ref=25; %Temperatura de referencia en condiciones de operacion (°C)
Delta_T=Tc-Tc_ref; % Diferencial de Temperatura
G_ref=1000; %Irradiacion de referencia en condiciones de operacion (W/m^2)
MI_SC=0.7; %Coeficiente de temperatura para la corriente de corto circuito
(A/°C)
Delta_I=(Isc.*((GT)./(G_ref))-1)+(MI_SC.*Delta_T); %Diferencial de
corriente
C2=((Vmax/Voc)-1)*(1/(log(1-(Imax/Isc))));%Constante 2
C1=(1-(Imax/Isc))*(exp(-(Vmax)./(C2.*Voc))); %Constante 1
Impp=(Isc.*(1-(C1.*((exp((Vmax)./(C2.*Voc))-1))))+Delta_I;%Corriente en
el panel fotovoltaico en el punto maximo de potencia
MV_SC=0.7;%Coeficiente de temperatura para voltaje de circuito abierto
Vmpp=(Vmax)+(MV_SC.*Delta_T); %Voltaje del panel en el maximo punto de
potencia
Pmpp=Vmpp.*Impp %Potencia del panel en el maximo punto de potencia

for x=1:24
    for y=1:6
        Pmpp_LINEAL(1,((6*(x-1))+(y)))=Pmpp(x,y) %Matriz de la potencia
generada por el panel
    end
end
Pmpp_LINEAL;

%%%
A=rand(24,6);%Matriz randomica
Vhr=5.*A; %Velocidad del viento promedio
Turbina=get(handles.popupmenu2,'value');%seleccion de la turbina

```

```

h=str2double(get(handles.edit2,'string')); %Atura del rotor de la turbina
hr=1;%Altura de referencia
V=Vhr*((h/hr)^(1/7));%Velocidad del viento en el rotor
Especificaciones_Turbina=[5 10 2 18 11086 1108.6 110.86 741 74.1 7.41; 10
10 2 18 16578 1657.8 165.78 741 74.1 7.41; 20 11 2 18 31958 3195.8 319.58
741 74.1 7.41; 50 11 2 18 96600 9659.9 965.99 741 74.1 7.41];
Pr=Especificaciones_Turbina(Turbina,1);
Vci=Especificaciones_Turbina(Turbina,3);
Vco=Especificaciones_Turbina(Turbina,4);
Vr=Especificaciones_Turbina(Turbina,2);

a=(Pr)/((Vr^3)-(Vci^3));
b=(Vci^3)/((Vr^3)-(Vci^3));

for j=1:6
    for i=1:24

if (Vci<V(i,j))&(V(i,j)<Vr)
    PWT(i,j)=(a*V(i,j)^3)-(b*Pr); %Potencia de la turbina

elseif (Vr<V(i,j))&(V(i,j)<Vco)
    PWT(i,j)=Pr(i,j);

else
    PWT(i,j)=0;

end
    end
end
PWT;
PWT=PWT.*1000 %conversion a Watts
for x=1:24
    for y=1:6
        PWT_LINEAL(1,((6*(x-1))+(y)))=PWT(x,y); %Transofrmacion de matrz a
vector

```

```

        end
    end
PWT_LINEAL

%POTENCIAS GENERADAS - ZONA DE GRAFICOS E INTEGRACION
Time=[0:1:143];
POT_GEN=PWT_LINEAL+Pmpp_LINEAL; %Potencia total
EQUIPO_UTILIZADO=get(handles.popupmenu3, 'value');
PORCENTAJE=get(handles.popupmenu4, 'value');

%INTEGRALES - AREAS BAJO LA CURVA
Consumo_TOTAL_Integral=Consumo_TOTAL.*(10/60); %Conversion a Wh
Consumo_TOTAL_Integral_2=sum(Consumo_TOTAL_Integral) %Sumatoria mediante
aproximacion por rectangulos
Consumo_TOTAL_Integral_3=Consumo_TOTAL_Integral_2./2;%50% del consumo

POT_GEN_Integral=POT_GEN.*(10/60);
POT_GEN_Integral_2=sum(POT_GEN_Integral);

PWT_LINEAL_Integral=PWT_LINEAL.*(10/60);
PWT_LINEAL_Integral_2=sum(PWT_LINEAL_Integral);

Pmpp_LINEAL_Integral=Pmpp_LINEAL.*(10/60);
Pmpp_LINEAL_Integral_2=sum(Pmpp_LINEAL_Integral);

if (PORCENTAJE==1) & (EQUIPO_UTILIZADO==1) %Todo el consumo y solo solar

axes(handles.axes1)
title('APLICACION DE UN SISTEMA DE ENERGIA SOLAR A UNA VIVIENDA RURAL');
xlabel('Tiempo (10 min)');
ylabel('Potencia(w)');

```

```

hold on
plot(Time,Pmpp_LINEAL,Time,Consumo_TOTAL)

set(handles.edit3,'string',Consumo_TOTAL_Integral_2);
set(handles.edit4,'string',Pmpp_LINEAL_Integral_2);

elseif (PORCENTAJE==1) & (EQUIPO_UTILIZADO==2) %Todo el consumo y solo eolica

axes(handles.axes1)
title('APLICACION DE UN SISTEMA DE ENERGIA EOLICA A UNA VIVIENDA RURAL');
xlabel('Tiempo (10 min)');
ylabel('Potencia(w)');
hold on
plot(Time,PWT_LINEAL,Time,Consumo_TOTAL)

set(handles.edit3,'string',Consumo_TOTAL_Integral_2);
set(handles.edit4,'string',PWT_LINEAL_Integral_2);

elseif (PORCENTAJE==1) & (EQUIPO_UTILIZADO==3) %Todo el consumo y hibrido

axes(handles.axes1)
title('APLICACION DE UN SISTEMA DE ENERGIA HIBRIDO A UNA VIVIENDA RURAL');
xlabel('Tiempo (10 min)');
ylabel('Potencia(w)');
hold on
plot(Time,POT_GEN,Time,Consumo_TOTAL)

set(handles.edit3,'string',Consumo_TOTAL_Integral_2);
set(handles.edit4,'string',POT_GEN_Integral_2);

elseif (PORCENTAJE==1) & (EQUIPO_UTILIZADO==4) %Todo el consumo y ninguno

axes(handles.axes1)
title('CONSUMO DE ENERGIA EN UNA VIVIENDA RURAL');
xlabel('Tiempo (10 min)');

```

```

ylabel('Potencia(w)');
hold on
plot(Time,Consumo_TOTAL)

set(handles.edit3,'string',Consumo_TOTAL_Integral_2);
set(handles.edit4,'string','');

elseif (PORCENTAJE==2) & (EQUIPO_UTILIZADO==1) %Medio consumo y solar

axes(handles.axes1)
title('APLICACION DE UN SISTEMA DE ENERGIA SOLAR A UNA VIVIENDA RURAL');
xlabel('Tiempo (10 min)');
ylabel('Potencia(w)');
hold on
plot(Time,Pmpp_LINEAL,Time,Consumo_Medio)

set(handles.edit3,'string',Consumo_TOTAL_Integral_3);
set(handles.edit4,'string',Pmpp_LINEAL_Integral_2);

elseif (PORCENTAJE==2) & (EQUIPO_UTILIZADO==2) %Medio consumo y eolico

axes(handles.axes1)
title('APLICACION DE UN SISTEMA DE ENERGIA EOLICA A UNA VIVIENDA RURAL');
xlabel('Tiempo (10 min)');
ylabel('Potencia(w)');
hold on
plot(Time,PWT_LINEAL,Time,Consumo_Medio)

set(handles.edit3,'string',Consumo_TOTAL_Integral_3);
set(handles.edit4,'string',PWT_LINEAL_Integral_2);

elseif (PORCENTAJE==2) & (EQUIPO_UTILIZADO==3) %Medio consumo y hibrido

axes(handles.axes1)
title('APLICACION DE UN SISTEMA DE ENERGIA HIBRIDO A UNA VIVIENDA RURAL');

```

```

xlabel('Tiempo (10 min)');
ylabel('Potencia(w)');
hold on
plot(Time,POT_GEN,Time,Consumo_Medio)

set(handles.edit3,'string',Consumo_TOTAL_Integral_3);
set(handles.edit4,'string',POT_GEN_Integral_2);

else  %(PORCENTAJE==2)&(EQUIPO_UTILIZADO==4) %Medio consumo y ninguno

axes(handles.axes1)
title('CONSUMO MEDIO DE ENERGIA EN UNA VIVIENDA RURAL');
xlabel('Tiempo (10 min)');
ylabel('Potencia(w)');
hold on
plot(Time,Consumo_Medio)

set(handles.edit3,'string',Consumo_TOTAL_Integral_3);
set(handles.edit4,'string','');

end

```

Para facilitar un mejor manejo se incluye un manual ilustrativo en las figuras 285 y 286, de las diferentes ventanas de la interfaz.

Figura 285 Manual ilustrativo de la interfaz

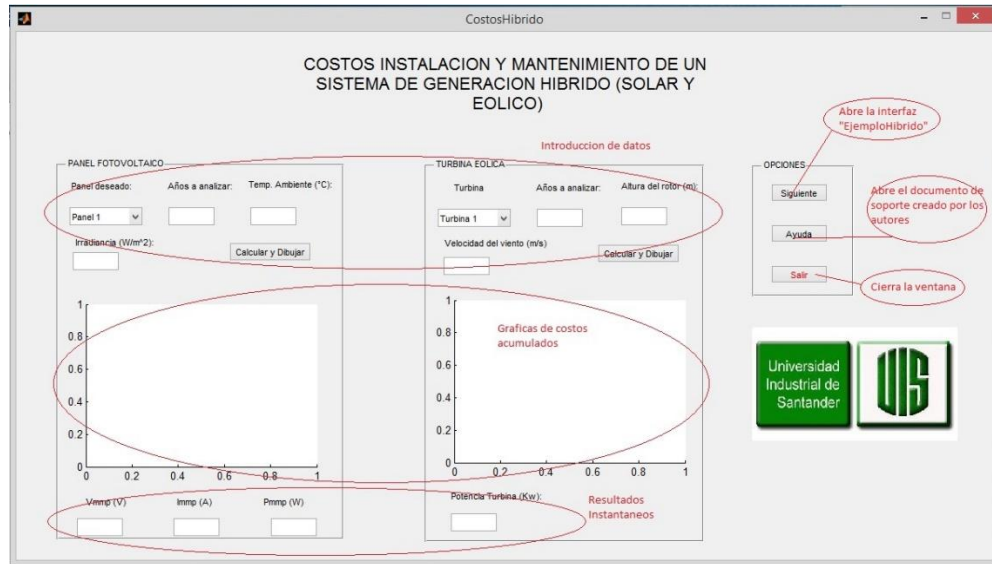
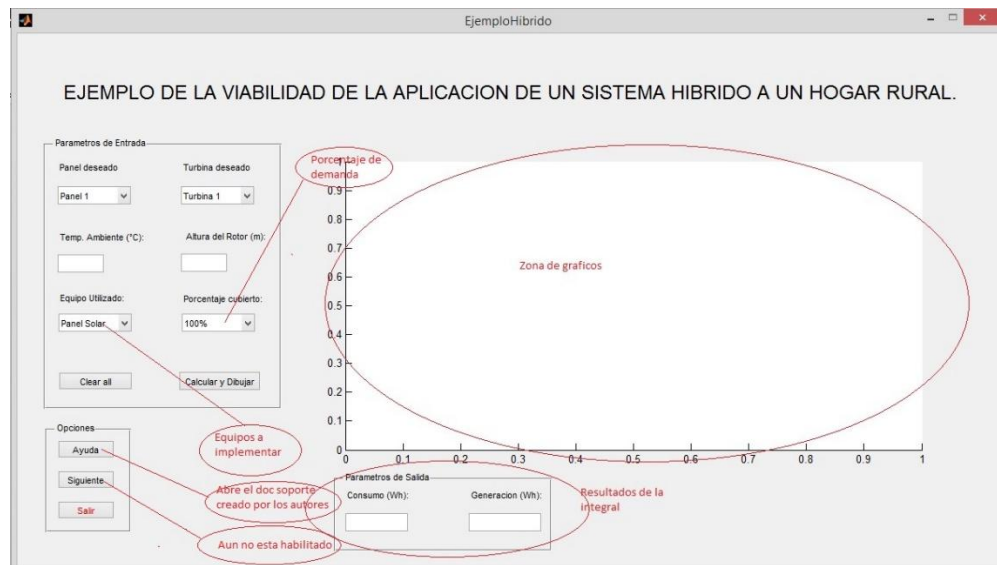


Figura 286 modelo ilustrativo de la aplicación hibrido



17.4. Conclusiones.

- ✓ La optimización de los sistemas de generación de energía a partir de la energía solar fotovoltaica y de la energía eólica requiere de un análisis y de un estudio que depende de muchos factores determinados por el sitio y por las especificaciones tanto de los paneles solares fotovoltaicos como de las turbinas eólicas.
- ✓ El programa en Matlab fue realizado para el cálculo de la potencia generada por los diferentes tipos de paneles fotovoltaicos y turbinas eólicas, y además calcula y grafica los costos generados para los dos tipos de energía.
- ✓ Para el correcto funcionamiento del programa se necesitan datos necesarios del sitio a estudiar y analizar, tanto para los paneles fotovoltaicos como para las turbinas eólicas.
- ✓ El programa tiene principalmente 4 tipos de paneles fotovoltaicos y 4 tipos de turbina eólicas, dados por el artículo *Optimal sizing study of hybrid wind/PV/diesel power generation unit* de la editorial científica ELSEVIER. Estos tipos de paneles fotovoltaicos y turbinas eólicas fueron los utilizados para el programa. Si se quiere analizar otro tipo de paneles fotovoltaicos y turbinas eólicas es necesario editar el código de Matlab.

18. CONCLUSIONES GENERALES DEL SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍAS ALTERNATIVAS: AVANCE Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN COLOMBIA

➤ Panorama de las Energías Alternativas o Renovables

- ✓ La investigación en el campo de las energías renovables o energías alternativas está teniendo actualmente una gran importancia a nivel mundial. Tal es el auge y el desarrollo de estas, que la mayoría de los gobiernos del mundo están desarrollando una política de inversión en este campo. Países desarrollados como Alemania, Estados Unidos, China, Inglaterra, España y muchos otros, están proponiendo e implementando modelos de producción de energía con base en fuentes de energía renovables y limpias.
- ✓ Colombia es un país que tiene una buena posición geográfica con respecto a diversas fuentes de energías alternativas aprovechables. Su investigación y desarrollo es muy poca o nula, debido a que no hay una política del estado que potencialice en gran medida esta investigación. Sin embargo, en Colombia se están llevando a cabo grandes proyectos basados en energías alternativas, y poco a poco se está avanzando en su desarrollo.
- ✓ El consumo de energía total en Colombia está sustentada principalmente por los combustibles fósiles (el petróleo, el gas natural, el carbón) con un 83%, seguido del consumo de energía eléctrica con un 18% y un 12% en biomasa. El sector del transporte es el que más consume con un 38%, seguido del sector industrial con un 24% y el residencial con un 22%.
- ✓ La generación de electricidad en Colombia está sustentada por la energía hidráulica con un 64%, seguida por la energía térmica con un 31% y por último energías menores como la biomasa con un 5%. En Colombia se tiene una alta dependencia de la energía hidráulica, lo que implica un alto riesgo

hacia una crisis energética cuando se presentan fenómenos naturales como el fenómeno del niño, el cual desabastece las principales centrales hidroeléctricas del país. Cuando el fenómeno del niño se ha presentado lo que se hace es recurrir a la segunda energía más potente, la térmica, quemando grandes cantidades de combustibles fósiles, y esto se hace cada vez más preocupante ya que el calentamiento global es más intenso año tras año. Se puede deducir que Colombia no tiene una política energética basada en diferentes fuentes de energía, ya que no se ha aprovechado o no se ha iniciado desarrollo en otros tipos de energías como las energías alternativas.

➤ **Energía Solar**

- ✓ En energía solar Colombia tiene gran variedad de proyectos aislados para la generación de energía eléctrica a comunidades no integradas al sistema energético Nacional llevados a cabo por entidades públicas como el ICEL (Instituto Colombiano de Energía Eléctrica), el IPSE (Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas) y la UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética), y por entidades privadas como EPM (Empresas Públicas de Medellín).

- ✓ El principal proyecto en energía solar en Colombia es el proyecto de poligeneración o proyecto híbrido (energía solar fotovoltaica, energía eólica y diesel), ubicado en el municipio de Nazareth en el departamento de la Guajira desarrollado por el IPSE, el cual abastece de energía eléctrica a una comunidad de 203 usuarios y además de esto abastece de energía eléctrica al hospital del municipio. Este proyecto actualmente no está en funcionamiento ya que el gobierno pretende ampliarlo para garantizar un servicio confiable y limpio para la comunidad.

➤ **Energía Eólica**

- ✓ El potencial de la energía eólica en Colombia es máximo en la zona costera de Colombia, principalmente en el departamento de la Guajira, con vientos superiores a los 11 m/s, necesarios para un buen aprovechamiento de la energía cinética del viento. En Colombia sólo se ha generado un proyecto piloto en energía eólica a gran escala, el parque eólico Jepirachi, ubicado a 8 km del Cabo de la Vela. Este parque es propiedad de EPM y fue inaugurado en el año 2004. Este parque conformado por 15 aerogeneradores Nordex N60/250 de 1300 Kw, para una capacidad instalada de 19,5 MW de potencia nominal y produce alrededor de 80 GWh/año (Energía media anual), este proyecto suministro energía eléctrica al municipio de Puerto Bolívar. Jepirachi no es un proyecto con fines comerciales, es una inversión en I+D (Investigación y Desarrollo), su principal propósito es el Know How, es decir, es un proyecto experimental con el fin de verificar y adaptar la tecnología. La Energía Eólica no es rentable en las condiciones actuales del SEC (Sector Eléctrico Colombiano), ya que los altos costos de la tecnología y la falta de incentivos son claves, los excelentes vientos de la Guajira podrían ser atractivos en el aprovechamiento energético en el mediano o largo plazo en Colombia. Además la hidroelectricidad es de lejos la más competitiva de acuerdo a los recursos disponibles del país.

➤ **Energía Hidráulica**

- ✓ La energía hidráulica es la energía más desarrollada en el país gracias a la gran cantidad de recurso hídrico que posee Colombia. La generación de energía eléctrica a través de la energía hidráulica es del 64%.

- ✓ Las centrales hidroeléctricas están distribuidas a lo largo del país, lo cual contribuye a que la energía hidráulica sea aprovechada a lo largo del territorio nacional, situándose el potencial más alto en la región Andina. Las tres principales hidroeléctricas son:
 - Central Hidroeléctrica San Carlos: Ubicada en el departamento de Antioquia. Actualmente es la central hidroeléctrica de mayor capacidad en Colombia (1240 MW).
 - Central Hidroeléctrica del Guavio: Ubicada en el departamento de Cundinamarca. Es la segunda hidroeléctrica del país, y es capaz de producir alrededor de 1210 MW.
 - Central Hidroeléctrica de Chivor: Ubicada en el departamento de Boyacá. Es la tercera en el orden después de la central San Carlos y el Guavio (capacidad de 1000 MW).

- ✓ En la región de Santander se encuentra el proyecto Hidrosogamoso, el cual ya está en su etapa de culminación, se espera que tenga una capacidad mayor a los 800 MW.

➤ **Energía de la Biomasa**

- ✓ El potencial de la energía de la biomasa de alrededor de 429.19 PJ/año. Estos se pueden dividir en 3 categorías: Residuos Agrícolas de los Cultivos (RAC) de palma africana, caña de azúcar, caña panelera, café, maíz y arroz con un total de 312 PJ/año, Biomasa Residual Pecuaria (BRP) de los sectores bovino, porcino y avícola para un total del de 177 PJ/año; y Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de centros de abasto, plazas de mercado y poda con un total de 0.19 PJ/año.

- ✓ Los principales biocombustibles obtenidos a partir de la biomasa es el etanol y el biodiesel. En Colombia existen 6 plantas para la producción de etanol: 5 en el valle del Río Cauca y 1 en el departamento del Meta; en cuanto a la producción de biodiesel Colombia posee 6 plantas: 3 en la costa caribe, 1 en Barrancabermeja, 1 en Cundinamarca y 1 en el Meta.

- ✓ La Universidad Industrial de Santander tuvo un gran aporte en la elaboración conjunta con otras entidades del Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia. En este atlas se presenta una gran información relacionada con el potencial energético de Colombia en la biomasa residual, tanto en el sector agrícola como en el sector de los residuos sólidos urbanos, así como cálculos o modelos matemáticos para la obtención del potencial energético de la biomasa.

➤ **Energía Geotérmica**

- ✓ La generación de energía eléctrica a partir de la energía geotérmica en Colombia está en sus fases de inicio. El principal proyecto de energía geotérmica en Colombia es el que se está llevando a cabo en el Nevado del Ruiz bajo entidades como La Universidad Nacional de Colombia, INGEOMINAS, ISAGEN y COLCIENCIAS. ISAGEN también estudiará con Ecuador el potencial de generación de energía geotérmica en la zona montañosa de la frontera entre Colombia y Ecuador. A ambas iniciativas se ha unido el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) que otorgará US\$900.000 para los estudios en ambas regiones (Nevado del Ruiz y la frontera Colombia Ecuador: Chiles – Cerro Negro – Tufiño).

➤ **Energía Mareomotriz y energía de las Olas**

- ✓ La energía mareomotriz y de las Olas es la energía de la cual, menos se tiene información y menos se ha investigado en el territorio nacional. En cuanto a la energía mareomotriz en Colombia se han realizado varios estudios pero esta energía no resulta viable. Para que esta forma de energía se pueda aprovechar, es necesario que se den condiciones de diferencia de mareas (superior a 3 m), corrientes de marea con velocidades superiores a 1.75 m/s y áreas de bahías o estuarios que permitan fácilmente la construcción de represas en las que alojaría en su base las turbinas para la generación de electricidad. Un inventario en el Pacífico colombiano elaborado por PESENCA arrojó como resultado un potencial de energía Mareomotriz de 500 MW. Se encontraron 45 posibles bahías en el Litoral Pacífico con potencial energético calculado en 120 MW, de las cuales se destacan Bahía Malaga con 3.5 MW, Punta Catripe con 8 MW y Bocana Bazán con 6MW. En general, la energía de las mareas y la energía de las olas tampoco representa un potencial desarrollable en el mediano plazo.

➤ **Viabilidad de las energías Renovables en Colombia**

- ✓ Para demostrar si las energías renovables son viables en Colombia, estas deben analizarse de forma independiente. Hay tres tipos de viabilidad (jurídica, técnica y económica). La viabilidad jurídica detalla las leyes bajo las que está regido un proyecto. La viabilidad técnica, explica los recursos con los que un proyecto puede llevarse a cabo, y finalmente la viabilidad económica, relaciona los costos de inversión con la posibilidad de que estos sean recuperados en un tiempo determinado.
- ✓ En Colombia existen diversas leyes que promueven y regulan las energías. Siendo la ley 1715 del 2014 la más reciente, la cual promueve el desarrollo y

la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, para su adecuado uso y utilización.

- ✓ Colombia cuenta con varias ZNI (zonas no interconectadas), donde el uso de energías renovables, es una gran alternativa para todas las personas que se encuentren dentro de ellas y que aún no cuenten con el suministro eléctrico.
- ✓ Desde el punto de vista de la viabilidad técnica y económica, algunas energías renovables pueden considerarse viables y otras aun no, ni siquiera cuentan con proyectos que hagan pensar que esta energía pueda traer grandes beneficios para el país.
- ✓ Las energías renovables más viables en Colombia son: la energía hidráulica y la de biomasa, seguido de la energía eólica y solar. Por otra parte, las energías como la geotérmica, mareomotriz y de las olas, son energías casi desconocidas en Colombia, las cuales por ahora solo se investigan para determinar posibles lugares donde se pueda logra un óptimo aprovechamiento de este tipo de energías.
- ✓ Cada una de estas energías tiene sus aspectos técnicos y socio económicos tanto positivos como negativos; por eso a la hora de implementar una energía de estas en cualquier zona del país, se deben desarrollar los estudios pertinentes, para tratar de que la generación de energía, sea la más óptima, limpia, y menos perjudicial para con el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

[1] ANONIMO. El efecto fotovoltaico y sus aplicaciones. [Citado 12 junio 2014]. Disponible en internet: <http://solarfotovoltaica.galeon.com/ARCHIVOS/INICIO.htm>

[2] BIOENERGYCROPS. International Consulting for sustainable Development. [Citado 12 junio 2014]. Disponible en internet: <http://bioenergycrops.com/es/2014/01/20/biomasa-en-colombia-ley-renovables/>

[3] Carta González José Antonio, Calero Pérez Roque, Colmenar Santos Antonio, Castro Gil Manuel-Alonso. Centrales de energía renovable. Madrid: Pearson educación, SA, 2009. 728 p. ISBN 978-84-362-5878-3

[4] COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 142 de 1994. (11, julio, 1994). La cual establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras exposiciones. Diario oficial. Bogotá D.C. 1994. 11p.

[5] COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 143 de 1994. (11, julio, 1994). La cual establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética. Diario oficial. Bogotá D.C. 1994. 39p.

[6] COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 1715 de 2014. (13, mayo, 2014). La cual promueve la regulación de la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Diario oficial. Bogotá D.C. 2014. 26p.

[7] COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 697 de 2001. (5, octubre, 2001). Mediante cual es fomentado el uso racional y eficiente de la energía, y se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. Diario oficial. Bogotá D.C. 2001. 4p.

[8] Energía eólica http://www1.eere.energy.gov/wind/wind_animation.html

[9] ENERGIAS RENOVABLES Y VERDES. La energía del medio ambiente. [Citado 1 junio 2014]. Disponible en internet: <http://www.renovablesverdes.com/origenes-e-historia-de-la-energia-solar-fotovoltaica/>

[10] EOI. Escuela de organización industrial. [Citado 29 mayo 2014]. Disponible en internet: <http://www.eoi.es/blogs/meerron/2013/01/21/evolucion-de-los-precios-de-la-energia-solar-fotovoltaica-y-la-paridad-de-red/>

[11] Gerardo Hiriart Le Bert. Revista Digital Universitaria UNAM.

[12] Gerardo Hiriart Le Bert. Revista Digital Universitaria UNAM. (Disponible en: <http://www.oei.es/divulgacioncientifica/reportajes012.htm>. Consultado el: 14 de abril de 2014.

[13] HERNANDEZ, Jhonatan. Sistema Eléctrico Colombiano. [Citado 1 junio 2014]. Disponible en internet: <http://proyecto-estadistica.blogspot.com/>

[14] INICIATIVAS DEL PROTOCOLO. Disponible en internet http://www.stopco2euskadi.net/documentos/Protocolo_Kyoto.pdf

[15] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION. Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. NTC-5613. Bogotá D.C. El instituto, 2008. 38p.

[16] José A. C. González, Roque C. Pérez, Antonio C. Santos, Manuel-A.C. Gil. CENTRALES DE ENERGÍAS RENOVABLES: GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ENERGÍAS RENOVABLES PEARSON EDUCACIÓN, S.A., Madrid, 2009.

[17] MORALES LEDESMA, Patricia. El sector energético Colombiano y las energías renovables. En: Revista académica e institucional. UPCB. Agosto, 2007. Vol. 79.

[18] Pedro Fernández Díez, Energía Eólica: Santander (España) universidad de Cantabria, 1993. 129 p. ISBN 84-8102-019-2

[19] Potencial eólico en Colombia <http://www.ewind.com/2010/08/25/la-eolica-en-colombia-el-potencial-eolico-de-la-guajira-alcanza-los-18-gw/>

[20] Potencial eólico global oceánico <http://www.tiempo.com/ram/2985/potencial-de-energa-elico-global-del-ocano/>

[21] Portal del Ingeniero Ambiental. (Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/apunte-mareomotriz.pdf> consultado el: 17 de abril de 2014

[22] PROTOCOLO DE KYOTO. Disponible en internet: http://www.ehu.es/cdsea/web/index.php?option=com_content&view=article&id=50&Itemid=110&lang=es

[23] PROTOCOLO DE KYOTO DE LA CONVENCION MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. [Citado el 13 De mayo de 2014]. Disponible en internet. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>

[24] REPERCUSIONES SOBRE LA BIOSFERA DE LA EXPLOTACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA. Disponible en internet: [Citado el 28 de febrero de 2014] <http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/transparencias/presenta08.pdf>

[25] RIOS VILLEGAS, Andrés Felipe y URIBE AGUIRRE, Kevin Alejandro. Generación Mareomotriz. [Citado 28 junio 2014]. Disponible en internet: <http://es.slideshare.net/kauribe/generacin-mareomotriz-13701199>

[26] SER. Soluciones energéticas renovables. [Citado 2 mayo de 2014]. Disponible en: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:36266/componente36265.pdf

[27] SOSA LUCIO, María. Impacto ambiental de la energía fotovoltaica- paneles solares. [Citado 23 junio 2014]. Disponible en internet: <http://prezi.com/zy8ic5awdb7c/impacto-ambiental-de-la-energia-fotovoltaica-paneles-solares/>

[28] Tipos de aerogeneradores <http://opexenergy.com/eolica/tiposaerogeneradores>.

[29] TWENERGY. Una iniciativa de Endesa por la eficiencia y sostenibilidad. [Citado 30 junio 2014]. Disponible en internet: <http://twenergy.com/energia-geotermica/colombia-y-la-energia-geotermica-640>

[30] Unidad de planeación minero energético UPME, instituto hidrología, metodología y estudios ambientales IDEAM. Atlas de viento y energía eólica en Colombia. República de Colombia, ministerio de minas y energía.168 p.

[31] UNIDAD MINERO ENERGETICA DE ENERGÍA. (Disponible en internet en: www.upme.gov.co). Consultado el: 10 de Enero de 2014.