



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

# INGENIERIA ELECTRICA ELECTRONICA

Facultad de Ingeniería

*“GENERACIÓN DISTRIBUIDA  
UTILIZANDO BIOMASA COMO ENERGÍA  
RENOVABLE”*

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO ELECTRICO  
ELECTRONICO

P R E S E N T A N

TORRES CASTRO HIPACTI MANINALLI  
NAVARRO GOVEA OSCAR ISRAEL

Director de Tesis: Ing. David Vázquez Ortiz

México D.F.

Mayo, 2010



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



---

HIPACTI MANINALLI TORRES CASTRO

Lo prometido es deuda, GRACIAS a todos.

A mis padres, por darme la estabilidad emocional y económica; para poder llegar hasta donde estoy ahora, algo que definitivamente no hubiera podido lograr sin ustedes. GRACIAS porque siempre han sido mi apoyo, soporte, sustento e inspiración para alcanzar mis metas, por enseñarme que con esfuerzo todo es posible, GRACIAS por este SU triunfo y el mío. LOS AMO.

Mamá gracias por tu apoyo comprensión y compañía, gracias por tus consejos y enseñanzas, GRACIAS.

Papá gracias por tu apoyo y mano dura, que sin ella tal vez no hubiera llegado a este punto. GRACIAS.

A ti, mi hermano, Jerónimo, que siempre has estado ahí para apoyarme cuando mas he necesitado, soy tu gran admiradora, fan from hell. Muchas muchas gracias Nano, por escucharme y soportarme. TE ADORO.

A mis amig@s quienes han estado en todo momento, bueno y malo de mi vida, quienes han sido un gran apoyo emocional y sentimental, GRACIAS, de verdad mil gracias por estar ahí siempre: Iris, Isis, Zaira, Balam, Oscar, Karla, Diana, Carlos, Edith.

Iris e Isis, como mis hermanas, les agradezco de corazón su apoyo y sinceridad en todo lo que hemos vivido. GRACIAS por todo, jamás dejare de estar agradecida por contar con amigas como ustedes, las amo amigas.

Zay Zay, my BF, mil gracias por siempre estar ahí, por escucharme y aguantarme, te adoro amigui.

Balam, mi super amibo, has sido un gran soporte, en todo este tiempo que llevo de conocerte, has sido verdaderamente mi mejor amigo, te agradezco mil y un veces mas que seas mi amigo y que me dejes compartir mis dramas contigo, te quiero mucho amigo.

Karlis, gracias por escucharme siempre, no tengo mas palabras para agradecerlo, GRACIAS.

Oscar, TÚ amigote, muchisimas gracias por dejarme ser tu amiga y dejarme estar contigo siempre, y más por dejarme hacer esto contigo, te quiero mucho, GRACIAS.

Diana, aunque llevamos poco de conocernos, agradezco tu gran amistad que hasta ahora ha sido increíble, te quiero mucho muchote, muchas gracias por ser mi amiga.

Carlos, GRACIAS, de verdad, mil gracias por todo, si digo mas puede ser usado en mi contra, asi que, GRACIAS amigo, por tus palabras.

Edith, gracias, mil gracias por estar ahí, siempre siempre, por las platicas, y todo lo demás, de verdad, gracias, te quiero ñoña.

Por esto y muchas cosas mas ..... GRACIAS a TODOS los que han compartido conmigo. Y bueno .... GRACIAS a ti .... Por todo el esfuerzo que ha costado llegar hasta aquí, sin ti no lo hubiera logrado nunca, tu siempre fuiste, eres y serás lo mas importante en mi vida.



---

## OSCAR ISRAEL NAVARRO GOVEA

Papá, gracias por apoyarme siempre y en todo momento, por ser mi mejor ejemplo a seguir como persona inteligente, responsable y trabajadora. Espero algún día llegar a ser una excelente persona como tú lo eres. Gracias por tu sabiduría y enseñanzas.

Mamá, gracias por tu apoyo constante, por estar día tras día al pendiente de mí. Gracias a tus cuidados, comprensión y compañía este logro fue posible. Todo lo que soy, ha sido gracias a ti.

Patricia, gracias por todas y cada una de las cosas que he aprendido de ti, a darme que cuenta que cuando tengo un reto por delante es posible con tenacidad. Discúlpame por esos momentos de atavismo que han sucedido entre nosotros, ante todo sabes que te quiero muchísimo y que cualquier cosa que pueda hacerte daño, me hace daño a mí, siempre estaré a tu lado apoyándote.

Korina, gracias por tus sabios consejos y todo tu apoyo que me has brindado a lo largo de mi vida, por compartir conmigo tus experiencias de vida y enseñarme a disfrutar de cada momento. Cada momento feliz vivido poco a poco me acerca a conocer lo que es la felicidad.

Iván, gracias por ser mi amigo y protector, tú me has enseñado a defenderme, pero también he aprendido a tomar las cosas con más calma. No voy a negar que también te he extrañado mucho, espero que en el futuro podamos acercarnos y recuperar aquellas excelentes tardes en que juntos compartíamos un videojuego.

Fernanda, gracias a ti recuperé una parte de mí que no supe cuando perdí, ese niño que tengo dentro, tú has sabido como sacarlo dentro de mí. Sabes que te quiero mucho y no solo eres mi sobrina, es mi hermanita. Si nos peleamos es solo cosa de un rato, siempre tendrás mi apoyo y protección. Te quiero mucho.

Marianita, gracias por todas tus muestras de cariño hacia mí, serás una gran mujer cuando crezcas.

Catalina, gracias por todos los consejos que me has dado, muchos de ellos los he puesto en práctica y se han convertido en excelentes lecciones de vida. Gracias por esas charlas, que si han sido pocas, las valoro mucho.

Oscar, Lalo y Agustín, gracias por su amistad, apoyo y consejos. Gracias por todos los momentos vividos juntos y lo que falta. Gracias por permitirme ser su amigo. F.O.F.A. Forever.

Los de la piedra, gracias por todo. A pasar juntos esos tragos amargos durante la escuela y todos los ratos de diversión, compañerismo y amistad.

Hipacti, gracias por tu amistad y por hacer esta travesía junto conmigo.

A mi tío Agustín, mi tía Araceli de los que también me llevo grandes consejos y aprendizajes.

A todos los que día con día les he demostrado mi cariño y amistad. Gracias. Balú, Mayra, César, Alfredo, Carolina, Ricardo, Francisco.

Gracias a mis maestros.

**INTRODUCCIÓN**

PROBLEMÁTICA.....	1
OBJETIVO.....	2

**CAPITULO 1****DEFINICIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA.....4**

1.1 ANTECEDENTES.....	4
1.2 DESARROLLO SOSTENIBLE.....	6
1.3 ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE.....	7
1.4 EFECTO INVERNADERO.....	9
1.5 CALENTAMIENTO GLOBAL DEL PLANETA.....	10
1.6 PROTOCOLO DE KIOTO.....	11
1.7 SISTEMAS ELÉCTRICOS CONVENCIONALES.....	13
1.7.1 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	14
1.7.2 TRANSMISIÓN.....	15
1.7.3 SUBESTACIONES.....	15
1.7.4 DISTRIBUCIÓN.....	16
1.8 GENERACIÓN DISTRIBUIDA.....	18

**CAPITULO 2****CALIDAD EN EL SUMINISTRO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.....21**

2.1.- CONCEPTO DE CALIDAD.....	21
2.2.- CALIDAD DE LA ENERGIA.....	22
2.3.- PERTURBACIONES EN LAS REDES ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN.....	23
2.3.1.-SOBRETENSIÓN.....	23
2.3.2.-TENSIÓN TRANSITORIA O PICOS DE TENSIÓN (IMPULSOS).....	24
2.3.3.-REGULACIÓN DE TENSIÓN.....	24
2.3.4.-VARIACIONES DE FRECUENCIA.....	25
2.3.5.-DISTORSIÓN ARMÓNICA.....	26
2.3.6.-CONTINUIDAD (APAGONES).....	29
2.4.-LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA.....	32

**CAPITULO 3****BIOENERGÍA.....36**

3.1.-ANTECEDENTES.....	36
3.2.-CONCEPTO DE BIOMASA.....	38
3.3.-TIPOS DE BIOMASA.....	42
3.4.-TECNOLOGIAS DE CONVERSIÓN DE BIOMASA EN ENERGÍA.....	43
3.4.1 PROCESO DE COMBUSTIÓN DIRECTA.....	44



3.4.2 PROCESOS BIOQUÍMICOS.....	47
3.4.3 PROCESOS TERMOQUÍMICOS.....	50
3.5.- BENEFICIOS DE LA UTILIZACIÓN DE LA BIOMASA CON FINES BIOENERGÉTICOS.....	58
3.6.- ASPECTOS TECNOLÓGICOS Y MEDIOAMBIENTALES DE LA BIOMASA.....	59
<b>CAPÍTULO 4</b>	
<b>TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA.....</b>	<b>61</b>
4.1.-TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN.....	62
4.1.1.-COGENERACIÓN.....	62
4.1.2.-TURBINAS DE GAS.....	63
4.1.3.-MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	64
4.1.4.-MICROTURBINA A GAS.....	66
4.1.5.-MICROTURBINA HIDRÁULICA.....	67
4.1.6.-CELDA DE COMBUSTIBLE.....	69
4.1.7.-CELDA FOTOVOLTAICA.....	71
4.1.8.-GENERADORES EÓLICOS.....	72
4.2.-TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO.....	73
4.2.1.-BATERÍAS.....	73
4.2.2.-VOLANTES DE INERCIA.....	74
4.2.3.-BOBINAS SUPERCONDUCTORAS.....	76
<b>CAPITULO 5</b>	
<b>GENERACIÓN DISTRIBUIDA CON BIOMASA.....</b>	<b>80</b>
5.1.-VENTAJAS MEDIO AMBIENTALES DEL USO DE LA BIOMASA PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.....	80
5.2.-VENTAJAS TECNOLÓGICAS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA USANDO BIOMASA COMO COMBUSTIBLE.....	81
5.3.-DESARROLLO DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA CON BIOMASA.....	84
5.4.-PANORAMA MUNDIAL.....	85
5.5.- PANORAMA EN MÉXICO.....	86
5.5.1.-NORMAS OFICIALES MEXICANAS PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	87
5.5.2.-EL HORARIO DE VERANO.....	88
5.5.3.-EL PROGRAMA DE AHORRO DE ENERGÍA EN INMUEBLES DE LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA FEDERAL.....	89
5.5.4.-ASI.....	90
5.5.5.-ILUMEX.....	90
5.5.6.-PROGRAMA DE INCENTIVOS DE FIDE.....	90
5.5.7.-GENERACIÓN DISTRIBUIDA.....	91
CONCLUSIONES.....	99
BIBLIOGRAFÍA.....	101



---

# INTRODUCCIÓN

## PROBLEMÁTICA

En ciudades grandes, como la Ciudad de México, se genera una enorme cantidad de basura. En esta basura va mezclada materia orgánica e inorgánica, y en la mayoría de los tiraderos o basureros es enterrada. Debido a la propiedad de la materia orgánica de desprender gases combustibles cuando está en descomposición, se han llegado a producir incendios en los basureros, provocando una gran contaminación. Por otro lado, cuando llueve sobre los tiraderos, el agua que se mezcla con la basura, se filtra posteriormente al subsuelo, contaminando así los mantos acuíferos.

El problema que representa la disposición de la basura se atenuará con la propagación de la cultura del reciclaje; en la basura se encuentran muchos materiales que pueden ser reutilizados (papel, vidrio, metales, etc.) y, en el caso de los desechos orgánicos o BIOMASA, tendremos la posibilidad de hacer uso de los gases combustibles y producir energía calorífica y energía eléctrica.

## OBJETIVO

En este trabajo se plantea, de manera teórica, una forma alternativa de generar energía eléctrica en la Ciudad más grande del mundo. Esta alternativa tecnológica consiste en generar la energía eléctrica lo más cerca posible al lugar de consumo, precisamente como se hacía en los albores de la industria



eléctrica, recurriendo a la energía que nos proporciona la biomasa (Bioenergía), con lo que se obtendrán los siguientes beneficios:

- Darle a la basura un uso adecuado.
- Fomentar el reciclaje.
- Evitar los incendios en basureros.
- Reducir las emisiones de contaminantes al ambiente.
- Contribuir al cumplimiento con lo establecido en el Protocolo de Kyoto.
- Los residuos de la biomasa no son tóxicos y sirven como composta.
- Suministrar la energía en periodos punta.
- Reducir las pérdidas.

En el capítulo No. 1 damos un panorama general de los Sistemas Eléctricos tradicionales y algunos aspectos de carácter medio ambiental, de los cuales, en gran medida, están involucrados los sistemas eléctricos. Finalizamos con la Definición de Generación Distribuida y sus ventajas. Después abordamos conceptos relacionados con la Calidad en el suministro de energía eléctrica, estos serán atendidos en el capítulo No. 2 y veremos de que manera la Generación Distribuida puede ayudarnos a este fin.

En el capítulo No. 3 se dará a conocer el concepto de bioenergía, el cual es importante tener en cuenta, ya que es una de las energías renovables que tiene un futuro promisorio.

En el capítulo No. 4 conoceremos algunas tecnologías ya existentes para la generación distribuida, cabe mencionar que estas tecnologías funcionan con las energías tradicionales, ya sea gas LP, Gas Natural, diesel, gasolina, etc.





Finalmente en el capítulo 5 se propone el uso de gases y/o líquidos combustibles, obtenidos a partir de biomasa para alimentar las tecnologías vistas en el capítulo 4. Además se menciona el proyecto que llevó a cabo Luz y Fuerza del Centro desde hace algunos años sobre Generación Distribuida hasta su reciente extinción.



## **CAPITULO 1**

### **1.- DEFINICIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA**

#### **1.1 ANTECEDENTES**

Quizá el momento más decisivo para la humanidad haya sido el descubrimiento del fuego, y gracias a él, la humanidad comenzó a ser capaz de controlar y modificar muchos procesos que hasta ese momento dependían únicamente de la naturaleza. Desde entonces la energía ha sido un elemento indispensable en la satisfacción de las necesidades cotidianas de todas las formas de organización social.

Durante la mayor parte de la historia humana, el sistema energético dependió de los flujos naturales de energía, de la fuerza animal y humana para proveer los servicios requeridos en la forma de calor, luz y trabajo. La única forma de transformación conocida era de energía química a energía calorífica y luminosa, mediante la quema de leña o de velas. Fue a partir de la revolución industrial, alrededor del año 1750, cuando el sistema energético mundial pasó por dos transiciones significativas: La primera fue la máquina de vapor alimentada por carbón, con la que se realizó la primera conversión de recursos energéticos fósiles en trabajo útil. La segunda gran transición fue la diversificación de las fuentes de abastecimiento de energía; la llegada de la electricidad fue tal vez el factor más importante para que esta transición ocurriera. Una tercera innovación fue el motor de combustión interna que revolucionó los patrones de transporte individual y colectivo. Sin embargo, junto con esto se dio una creciente dependencia del petróleo como el



energético primario para cubrir las necesidades cada vez mayores de combustibles para generación eléctrica y transporte.

La electricidad es una de las principales fuentes de energía usadas en el mundo. Sin ella no hubiera sido posible alcanzar el estado en el que se encuentra la humanidad, no se tendría todo lo que actualmente depende de la electricidad como: la investigación espacial, iluminación, motores, computadoras, sistemas de comunicaciones, equipos para el cuidado de la salud, artefactos electrodomésticos, etc. Sin la electricidad, todas las comodidades que el ser humano disfruta cotidianamente, simplemente, no existirían. Del grado de consumo de energía eléctrica de un país depende su avance tecnológico y social.

La industria eléctrica se inició con la generación de energía eléctrica en el sitio de consumo, en las minas y en la industria textil. Después, su uso se hizo extensivo al llevar la energía a los consumidores domésticos, creciendo con ello la demanda y motivando que la generación evolucionara hacia el esquema de Generación Centralizada, precisamente porque la central eléctrica se encontraba en el centro geográfico del consumo.

Originalmente la energía eléctrica se produjo por medio de generadores de corriente directa. Esto trajo restricciones tecnológicas ya que la energía era transportada por baja tensión de 30 a 50 kilómetros como máximo. Edison instaló en la ciudad de Nueva York la primera central eléctrica del mundo para alumbrado público, con la que iluminó la calle de Wall Street, en Manhattan, esto ocurrió en el año de 1882.



Las empresas eléctricas se establecieron en territorios abiertos sin servicios, garantizando así monopolios. Los sistemas fueron aislados, sin conexión con otras empresas eléctricas. A principios de los años treinta, las redes eléctricas se unieron unas con otras y la interconexión ofreció evidentes ventajas.

Con el tiempo, la generación eléctrica se estructuró como se conoce hoy en día, es decir, con corriente alterna y transformadores, lo que permitió llevar la energía eléctrica prácticamente a cualquier punto alejado del centro de generación. Bajo este escenario, se perdió el concepto de Generación Centralizada, ya que las grandes centrales se encuentran en lugares distantes de las zonas de consumo, pero cerca de las fuentes de energía.

En los años setenta, factores energéticos (crisis petrolera), ecológicos (cambio climático) y de demanda eléctrica (alta tasa de crecimiento) a nivel mundial, plantearon la necesidad de alternativas ecológicas para asegurar, por un lado, el suministro oportuno y de calidad de la energía eléctrica y, por el otro, el ahorro y uso eficiente de los recursos naturales.

## **1.2 DESARROLLO SOSTENIBLE**

Históricamente; el hombre ha construido diferentes instrumentos para mantener, atender y satisfacer necesidades de desarrollo y progreso económico, cultural y tecnológico. Estas necesidades son originadas en principio para lograr beneficio social. No obstante, el camino que ha elegido para tratar de alcanzar estos objetivos son: el de un desarrollo y el de un crecimiento dispar; que si bien produce satisfactores, al mismo tiempo transforma y explota al sistema natural de manera excesiva y no organizada o no sostenida.



La explotación tecnológica permite al hombre mantener el nivel y estilo de vida que desea, y el que ha seguido a la sociedad en general.

Sin embargo, este proceso se ha traducido en agotamiento de recursos, destrucción de los ecosistemas naturales, pérdida de la fertilidad y deterioro de los suelos agrícolas, etcétera.

Se entiende entonces por Desarrollo Sostenible el atender y satisfacer las necesidades de desarrollo y progreso económico, cultural y tecnológico, evitando el agotamiento de recursos, destrucción de los ecosistemas naturales, pérdida de la fertilidad y deterioro de los suelos agrícolas, protegiendo así el medio ambiente nacional y mundial para el beneficio de las generaciones futuras y mejorando constantemente la calidad de vida.

### **1.3 ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE**

El clima de la Tierra en el transcurso de su historia ha variado constantemente. El clima actual difiere en mucho del clima que dominaba hace 100 millones de años. Lo que se intenta hacer entender es que los cambios climáticos están impulsados por causas naturales, como los cambios en los parámetros orbitales. Pero los cambios climáticos actuales, a diferencia de los registrados en el pasado, están impulsados por una fuente adicional: la actividad humana.

Los problemas ambientales se han incrementado en los últimos años debido a las grandes necesidades de una población creciente, cuyas actividades principales de los sistemas energéticos no han sido respetuosas con el medio ambiente provocando la degradación del mismo y de los recursos naturales.



Un sistema energético general es considerado como un conjunto de tres elementos principales: la fuente, el proceso de transformación y la utilización, durante cada etapa del sistema se producen impactos negativos hacia el medio ambiente.

La industria es uno de los principales productores de los contaminantes emitidos a la atmósfera a causa de los combustibles y materias primas empleados, del tipo de proceso y las tecnologías usadas. Unos de los principales centros emisores de contaminantes son las centrales de generación eléctrica.

Los contaminantes emitidos a la atmósfera son varios, pero uno de estos gases contaminantes emitidos a la atmósfera es el bióxido de carbono, que si bien su existencia en el aire es completamente normal, su concentración ha sobrepasado los límites de su proporción en la mezcla de los componentes en la atmósfera, ver figura 1.1.

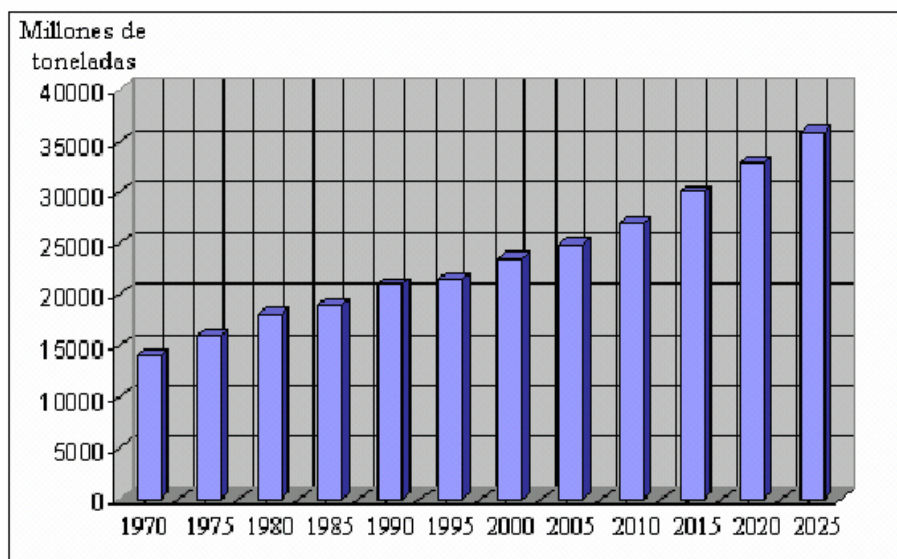


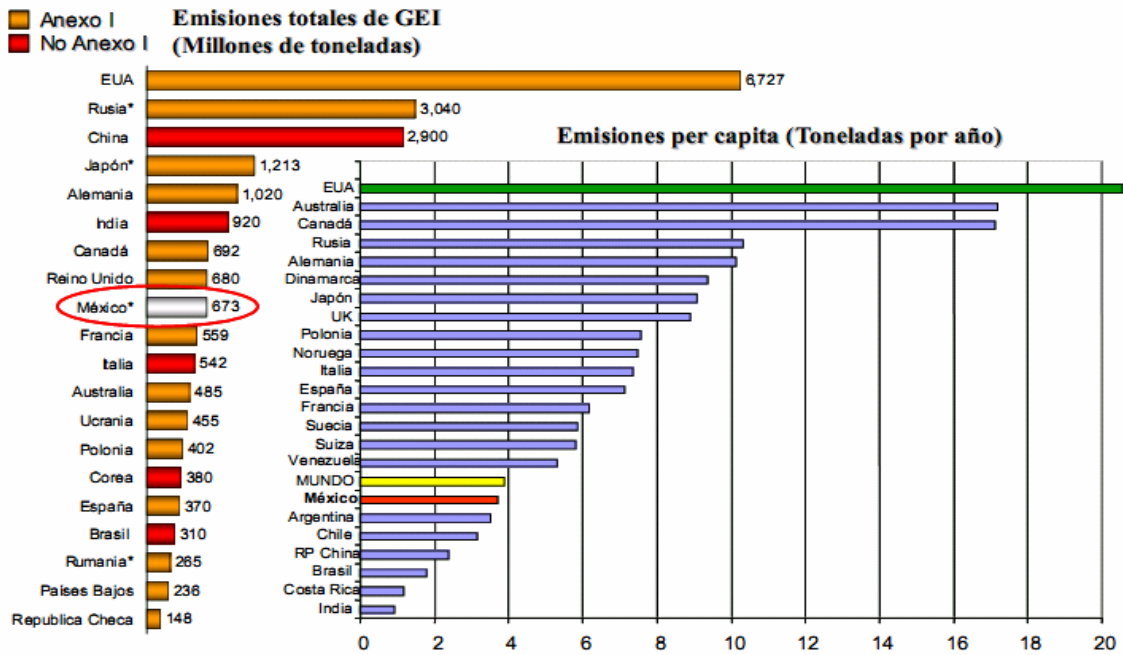
Figura 1.1 Emisiones de CO2 a nivel mundial



El exceso de bióxido de carbono y estos otros gases son los responsables del llamado Efecto Invernadero.

#### **1.4 EFECTO INVERNADERO**

El clima de la Tierra está dirigido por un flujo de energía continuo desde el Sol. Aproximadamente un 30 % es devuelto al espacio en forma inmediata, pero la mayoría del restante 70 % pasa a través de la atmósfera para calentar la superficie terrestre. La Tierra debe enviar esta energía de vuelta al espacio en la forma de radiación infrarroja. Estando mucho más fría que el Sol, la Tierra no emite energía como luz visible. En cambio, emite radiación infrarroja o radiación térmica. Los gases de efecto invernadero (figura 1.2) en la atmósfera bloquean la radiación infrarroja y no le permiten escapar directamente desde la superficie del planeta al espacio. De esta manera, al aumentar la concentración de gases de invernadero, se incrementa la cantidad de calor atrapado en la atmósfera, dando origen al Calentamiento Global del Planeta.



Fuente: [www.unfccc.int](http://www.unfccc.int)

Figura 1.2 Gases de Efecto invernadero

### 1.5 CALENTAMIENTO GLOBAL DEL PLANETA

Se piensa que el calentamiento global puede afectar a la humanidad en diversos aspectos como la disminución en la producción y abastecimiento de alimentos. Además de afectar a todas las especies y ecosistemas en general ya que serán cada vez más constantes y grandes ciertos fenómenos naturales como tormentas, sequías, huracanes, etc., que en particular afectarán principalmente a los países subdesarrollados ya que el proceso de recuperación a uno de estos embates de la naturaleza es lento y costoso. Varios estudiosos de este tema empiezan a considerar incluso el derretimiento de los polos terrestres.





## 1.6 PROTOCOLO DE KIOTO

En esencia, el protocolo de Kyoto convoca a una reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre) a los países desarrollados y a algunos países con economías en transición. Esta iniciativa, surgida en diciembre de 1997 bajo la Convención Marco sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas, podría tener en el futuro, profundos efectos sobre el uso de combustibles sobre países que lo ratifiquen. Cabe señalar que México firmó su adhesión a este protocolo como país miembro del Anexo II el 9 de junio de 1998 y la ratificó el 7 de septiembre de 2000.

Bajo los términos del Protocolo de Kyoto, los países se agrupan en dos anexos. El Anexo I incluye a la mayoría de los países industrializados, mientras que el Anexo II incluye a los países en vías de desarrollo. De esta forma, para el período de 2008 a 2012, los países del anexo I se comprometieron a reducir sus emisiones totales de gases de invernadero en al menos 5% respecto a los niveles de 1990. Las metas cuantificadas de emisión son establecidas para cada país de manera diferenciada.

Para alcanzar estas metas de reducción, los países del anexo I pueden implementar medidas internas de reducción de emisiones a los llamados “mecanismos flexibles”, diseñados para ayudar a los países a alcanzar sus metas de reducción de la manera más eficiente, a través del mercado. Estos mecanismos consisten en lo siguiente:



- Comercio internacional de emisiones: Este mecanismo permite que a partir del 2008 los países del Anexo I siempre y cuando hayan reducido sus emisiones de gases de efecto invernadero en 10 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> más allá de su meta establecida pueden vender este excedente de emisiones reducidas a otros países del Anexo I que no hayan cubierto su cuota de reducción.
- Implementación conjunta: Permite a los países del Anexo I invertir, a través de sus gobiernos u otras instituciones legales en proyectos de reducción de emisiones en otros países del Anexo I, conservando el país inversionista sus créditos que le podrán ayudar a alcanzar sus metas internas.
- Mecanismos de desarrollo limpio: Es similar al de la implementación conjunta, con la diferencia de que los países destinatarios de la inversión no pertenecen al Anexo I, lo que abre la posibilidad de que este tipo de proyectos beneficie a economías en desarrollo. Al estar las energías renovables fuertemente vinculadas con el uso de fuentes limpias, este mecanismo representa una gran oportunidad para impulsar su desarrollo en México.

En lo que respecta a este último mecanismo, se tiene la propuesta de construir un parque eólico de 200 MW llamado “Bii Nee Stipa (Viento que trae energía)” en la Ventosa, Oaxaca por parte de Gamesa Eólica de España, la cual ha sido presentada ante la ONU para ser registrada dentro del Mecanismo de Desarrollo Limpio para la obtención de créditos de carbono (CO<sub>2</sub>). Las autoridades nacionales designadas en España y México, aprobaron su participación como países receptor y emisor respectivamente, de los créditos de carbono que sean generados por el parque eólico.



## 1.7 SISTEMAS ELÉCTRICOS CONVENCIONALES

El sistema de suministro eléctrico comprende el conjunto de medios y elementos útiles para la generación, el transporte y la distribución de la energía eléctrica. Este conjunto está dotado de mecanismos de control, seguridad y protección.

Constituye un sistema integrado que además de disponer de sistemas de control distribuido, está regulado por un sistema de control centralizado que garantiza una explotación racional de los recursos de generación y una calidad de servicio acorde con la demanda de los usuarios, compensando las posibles incidencias y fallas producidas.

En la figura 1.3 se pueden observar en un diagrama esquematizado las distintas partes componentes del sistema de suministro eléctrico:

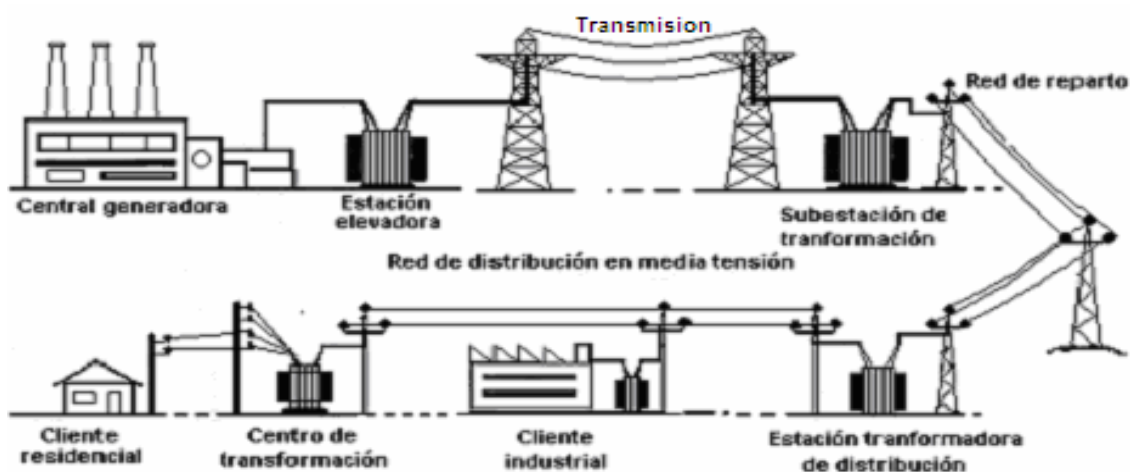


Figura 1.3 Sistema Eléctrico de Potencia



### 1.7.1 Generación de energía eléctrica

La energía eléctrica se genera en las Centrales Eléctricas. Una central eléctrica es una instalación donde se lleva a cabo la transformación de la energía que se encuentra en las fuentes primarias, tales como: petróleo, gas, agua, carbón, uranio, etc. en energía eléctrica.

La electricidad tiene la particularidad de que no puede ser almacenada en grandes cantidades, por lo que debe producirse en el momento que se requiere, esto obliga a disponer de capacidades de producción flexibles y suficientes para adaptarse a la demanda de los consumidores.

En la figura 1.4 se muestra la distribución de los energéticos primarios para la generación de energía eléctrica en el sistema eléctrico nacional.

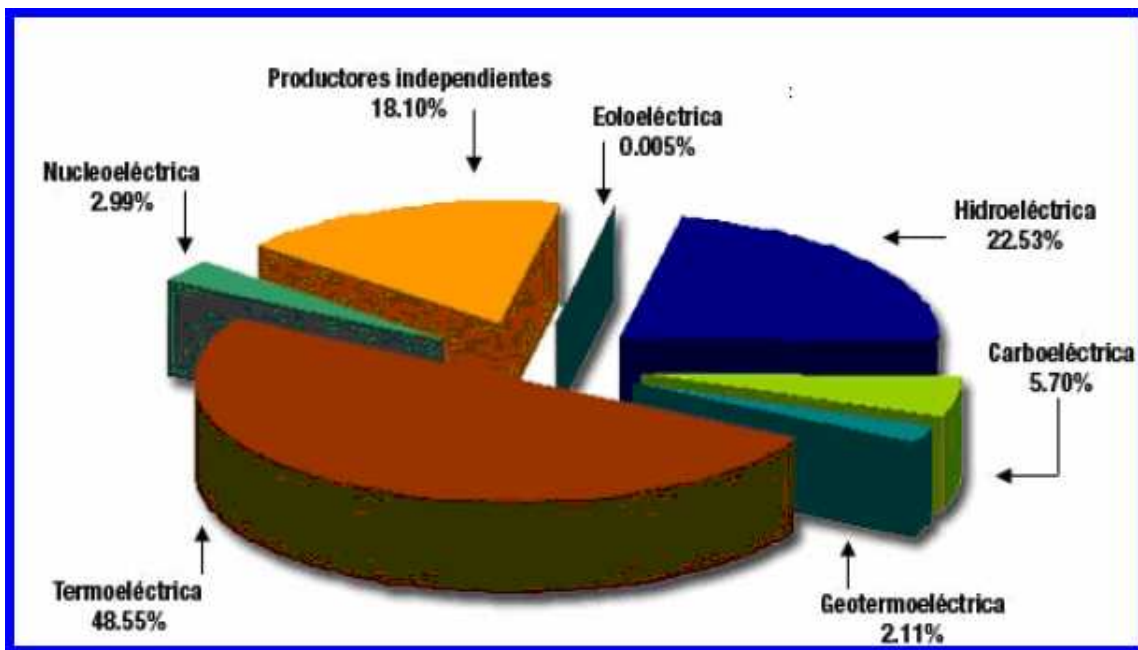


Figura 1.4. Capacidad Instalada de Generación en México



### **1.7.2 Transmisión**

La red de transmisión es la encargada de enlazar las centrales con los puntos de utilización de energía eléctrica. Para un uso racional de la electricidad es necesario que las líneas de transporte estén interconectadas entre sí formando una red, de manera que puedan transportar electricidad entre puntos muy alejados, en cualquier sentido y con las menores pérdidas posibles.

### **1.7.3 Subestaciones**

Se le llama subestación eléctrica, al conjunto de aparatos y dispositivos de transformación, conversión y distribución de energía eléctrica, cuya misión es alimentar una red eléctrica. Las subestaciones eléctricas, en función a su diseño son las encargadas en interconectar líneas de transmisión de distintas centrales generadoras, transformar los niveles de voltajes para su transmisión o consumo. Las subestaciones eléctricas por su tipo de servicio se clasifican en:

- Subestaciones elevadoras
- Subestaciones reductoras
- Subestaciones compensadoras
- Subestaciones de maniobra o switcheo
- Subestación principal del sistema de distribución
- Subestación de distribución
- Subestaciones rectificadoras
- Subestaciones inversoras



#### **1.7.4 Distribución**

La red de distribución está constituida por líneas y transformadores, fundamentalmente, que, a la tensión requerida, lleva la energía eléctrica hasta cada uno de los consumidores.

La producción eléctrica en un sistema centralizado, independientemente si esté regulado o no, se basa en las grandes centrales y en la red de la transmisión y de distribución. Todas las centrales están interconectadas con esta red formando un sistema eléctrico. Este sistema tiene que satisfacer la demanda según se genere cada día.

En cuando a la tecnología, la mayoría de las centrales son térmicas y usan diferentes tipos de combustibles fósiles. Sin embargo, las grandes centrales hidráulicas son las únicas plantas de energía renovable que contribuyen significativamente, en algunas regiones, en la producción de electricidad.

Al sistema eléctrico centralizado se culpa también de ser uno de los principales factores del endeudamiento masivo que padece muchos países en desarrollo, los cuales con el afán de construir su sistema eléctrico a semejanza de los países industrializados, han recurrido a fuertes endeudamientos con la banca internacional para obtener el capital del que carecen sus economías. Por estas y otras razones adicionales, el sistema eléctrico tradicional se encuentra actualmente sometido a un profundo proceso de reforma en muchos países, lo que marca pautas para su evolución hacia esquemas alternativos de generación y suministro de electricidad. Finalmente, el sistema eléctrico convencional enfrenta cada vez mayores dificultades para llevar el servicio a casi un tercio



de la humanidad que aún no tiene acceso a la electricidad ni a los beneficios que de ella se derivan.

En medio de las reformas a que está sometido el actual sistema eléctrico en el entorno mundial, surgen nuevos esquemas en lo político, lo económico y lo tecnológico. Ello hace pensar que dentro de 30 o 40 años las empresas eléctricas de entonces en poco se habrán de parecer a las que conocemos actualmente.

El sistema eléctrico Nacional actual ha demostrado sus bondades a lo largo de más de cien años de existencia: ha facilitado el desarrollo económico y social y ha sido palanca para la innovación en diversos ámbitos del quehacer humano. La mayoría de los servicios que se disfrutan hoy en día no habrían sido posibles sin la electricidad suministrada por sistema eléctrico. Pero el esquema actual de generación también empieza a dar muestras de sus limitaciones, conforme la sociedad humana se hace más consciente del entorno en que vive. Al proceso de generación eléctrica mediante la quema masiva de combustibles fósiles se atribuye, en gran medida, el fenómeno del cambio climático, uno de los problemas ambientales más serios que enfrenta la humanidad en los comienzos del siglo XXI.

## **1.8 GENERACIÓN DISTRIBUIDA**

El futuro del petróleo se presenta, tanto en precio como en disponibilidad, tan negro como el propio combustible, así como también el de los otros combustibles fósiles y, si agregamos que la quema de los hidrocarburos es fuente de contaminación y de gases que provocan el efecto invernadero, la situación es todavía más crítica. Por estas y otras razones, la producción futura



de energía eléctrica deberá reducir su dependencia de los combustibles fósiles y recurrir a fuentes de energía renovable, configurando nuevos modelos de gestión energética; por ejemplo, la generación distribuida.

La Generación Distribuida (GD) aunque se pudiera pensar que es un concepto nuevo tiene su origen, de alguna forma, en los inicios mismos de la industria eléctrica.

Aunque no existe una definición como tal, diversos autores han tratado de explicar el concepto. A continuación se presentan las más ilustrativas:

- Generación en pequeña escala instalada cerca del lugar de consumo.
- Producción de electricidad con instalaciones que son suficientemente pequeñas en relación con las grandes centrales de generación, de forma que se puedan conectar casi en cualquier punto de un sistema eléctrico.
- Es la generación conectada directamente a las redes de distribución.
- Es la generación de energía eléctrica mediante instalaciones mucho más pequeñas que las centrales convencionales y situadas en las proximidades de las cargas.
- Son sistemas de generación eléctrica o de almacenamiento, que están situados dentro o cerca de los centros de carga.





- Es la producción de electricidad por generadores colocados, o bien en el sistema eléctrico de la empresa, en el sitio del cliente, o en lugares aislados fuera del alcance de la red de distribución.
- Es la generación de energía eléctrica a pequeña escala cercana a la carga, mediante el empleo de tecnologías eficientes, destacando la cogeneración, con la cual se maximiza el uso de los combustibles utilizados.

Podemos decir entonces que la **Generación Distribuida** (también conocida como Generación In-Situ, o Generación Dispersa) es: **la generación de energía eléctrica localizada cerca de los centros de consumo, la instalación puede estar aislada y proporcionar un servicio específico, o interconectada a las redes de distribución o transmisión para mejorar la calidad de la energía entregada.**

La generación distribuida no debe ser confundida con la generación con fuentes de energía renovable, ya que pueden o no, utilizarse fuentes de este tipo.

En términos generales, al implementar proyectos de generación distribuida lo que se busca es aumentar la calidad en el suministro de la energía y el aprovechamiento de los recursos disponibles.





## **CAPITULO 2**

# **2.- CALIDAD EN EL SUMINISTRO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA**

### **2.1.- CONCEPTO DE CALIDAD**

Uno de los aspectos que preocupa y día a día adquiere más relevancia entre consumidores industriales, comerciales, residenciales y las compañías suministradoras de energía, es el concepto de “Calidad en el Suministro de la Energía Eléctrica”.

El término “calidad” es entendido de muy distinta manera por distintos usuarios y por las propias compañías suministradoras, y en efecto existen muchas definiciones de calidad.

Muchos autores han dado su propia definición al término “calidad”:

- W. Edwards Deming: “Calidad no significa alcanzar la perfección, significa conseguir una eficiente producción con las características que espera obtener el mercado.”
- Joseph M. Juran: “Adecuación al uso.”
- Phillip Crosby: “Conformidad con los requisitos.”
- Armand V. Feigebaum: “La composición total de las características de los productos y los servicios de “marketing”, ingeniería, fabricación y mantenimiento, a través de los cuales los productos y los servicios cumplirán las expectativas de los clientes.”



- Norma ISO 9001:2000: “Grado en que un conjunto de características inherentes cumplen con los requisitos.”

De las definiciones anteriores concluimos que la “calidad” es el grado en que el conjunto de propiedades y características (implícitas o establecidas) de un producto o servicio cumplen con las necesidades o expectativas establecidas, implícitas u obligatorias de los clientes o consumidores. Es decir, decimos que existe calidad si un producto o servicio cumple con una serie de requisitos que eran los esperados por los potenciales usuarios del mismo.

## **2.2.- CALIDAD DE LA ENERGÍA**

En relación con la energía eléctrica, el término “Calidad” lo podemos definir como: “grado en que la energía eléctrica suministrada satisface las expectativas de los usuarios”.

Los problemas asociados a la calidad de la energía eléctrica no son nuevos. Lo que es nuevo es que ahora los usuarios están más conscientes de las consecuencias de estos fenómenos y que las técnicas para su detección y corrección son más accesibles que en años pasados. Todos los sistemas eléctricos están expuestos a contingencias y diversos problemas causados por fenómenos naturales, accidentes o por la propia operación de la red, lo cual repercute en la calidad de la energía.

Este concepto de calidad incluye todo lo relacionado con una gran variedad de disturbios, que se generan en los sistemas eléctricos y que causan desviaciones de las condiciones adecuadas de tensión, corriente o frecuencia resultando en



fallas de los sistemas, en operaciones erráticas de los equipos o en la suspensión del servicio. Las fallas más comunes son sobre tensión, baja tensión, variaciones en la frecuencia, distorsiones armónicas e interrupción del servicio (apagones), mismas que describiremos mas adelante en este capítulo.

## **2.3.- PERTURBACIONES EN LAS REDES ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN**

Podemos decir que el objetivo de la calidad de la energía es encontrar caminos efectivos para corregir distintos fenómenos que derivan en fallas, proponiendo soluciones para corregir dichas fallas que se presentan en el sistema eléctrico.

### **2.3.1 SOBRETENSION**

Una sobre tensión es una elevación momentánea o mantenida en el nivel de tensión y pueden ser causadas por motores eléctricos de alta potencia, desconexiones y el ciclo normal de los sistemas de aire acondicionado y ventilación (figura 2.1).



Figura 2.1 Sobretensión

Los dispositivos de protección contra sobre tensión, también conocidos como supresores de sobre tensión, son un recurso efectivo y económico para



proteger aplicaciones y equipos estratégicos. Estos equipos reducen las sobretensiones a niveles adecuados para los equipos de CA.

### **2.3.2 TENSION TRANSITORIA O PICOS DE TENSION (IMPULSOS)**

Son incrementos considerables y súbitos de tensión, por ejemplo, los ocasionados cuando un rayo cae sobre una línea de alta tensión o la conexión a tierra adyacente, pueden hacer que entren en los equipos electrónicos impulsos nocivos de tensión y destruyan delicados circuitos de estado sólido.



Figura 2.2. Impulsos

De apenas pocos milisegundos de duración los picos de tensión o transitorios originados por las descargas atmosféricas, causan enormes pérdidas todos los años. También pueden ser causados por conmutación de la red del servicio eléctrico, generadores y motores de gran tamaño.

### **2.3.3 REGULACIÓN DE TENSION**

En lapsos de gran demanda de energía, las fluctuaciones de tensión tienen siempre un efecto negativo en las cargas de cualquier tipo. En México la regulación de la tensión (Figura 2.3) puede variar  $\pm 10\%$  con respecto a la



nominal, pero no es extraño encontrar variaciones de 12% y hasta 15% en algunos casos.



Figura 2.4. Regulación de Tensión

Los problemas de tensión generados por la conexión y desconexión de grandes cargas, arranques de motores, o las condiciones de baja tensión de las distribuidoras de electricidad durante las horas pico, normalmente pueden controlarse con reguladores de tensión. Aquí también se presentan las caídas de tensión debido a la conexión de grandes cargas.

### 2.3.4 VARIACIONES DE FRECUENCIA

Las variaciones en la frecuencia (figura 2.5) se suelen producir por la conexión o desconexión de cargas importantes en el sistema de distribución, lo cual puede producir ligeros descensos de la velocidad en los generadores.



Figura 2.5 Variaciones de Frecuencia

Los límites de variación aceptados para promedios de 10 segundos son muy pequeños:



- Para sistemas interconectados: desviación máxima entre +4% y -6%.
- Para sistemas en isla: desviación máxima entre el +- 15%

Las consecuencias más importantes de la variación de frecuencia se dan en industrias donde exista cogeneración acoplada a la red, donde el generador propio seguirá las variaciones impuestas por el sistema eléctrico, generalmente mucho más potente. En el caso de autogeneradores en isla, las variaciones de frecuencia deben prevenirse con un adecuado sistema de acoplamiento de cargas. La variación de la frecuencia también afecta a la velocidad de los motores.

### **2.3.5 DISTORSIÓN ARMÓNICA**

Los equipos de hoy en día son más sensibles a las variaciones en el suministro de la energía eléctrica que los utilizados en años anteriores. Muchos dispositivos contienen control basado en microprocesadores e instrumentos electrónicos que son sensibles a los disturbios eléctricos.

La tarea constante de disminuir costos en el uso de la energía eléctrica, ha llevado a la implementación de equipos de alta eficiencia como son: variadores de velocidad en motores, bancos de capacitores para la corrección del factor de potencia y el uso extensivo de equipos de cómputo para optimizar procesos.

Como resultado adverso del uso de los equipos mencionados y de la enorme gama de equipos electrónicos en innumerables aplicaciones, se tiene la





presencia indeseable de ondas armónicas en las redes eléctricas, problema que no solo afecta a los usuarios sino también a las propias compañías suministradoras (CFE, Luz y Fuerza del Centro).

Las perturbaciones más importantes que afectan a la forma de onda son los denominados armónicos (Figura 2.6). Se trata de perturbaciones de frecuencia relativamente baja (hasta 2500 Hz). Las armónicas pueden presentarse en corriente, tensión o ambas y se pueden combinar con la frecuencia fundamental para crear distorsión. El nivel de distorsión está directamente relacionado a las frecuencias y amplitudes de las corrientes armónicas.



Figura 2.6 Distorsión Armónica

Las armónicas no se producen normalmente por el sistema eléctrico de potencia, pero sí, en la mayoría de los casos, por las cargas conectadas al mismo.

Las principales consecuencias de estos fenómenos sobre las cargas son:

- Sobre los transformadores y generadores: El contenido armónico provoca un calentamiento considerable en el núcleo debido a la histéresis y a las corrientes parásitas.



- Sobre los motores: Produce un sobrecalentamiento debido a las corrientes armónicas de secuencia negativa (5ª armónica) y las corrientes parásitas.
- Sobre los conductores: Las armónicas provocan un sobrecalentamiento del conductor neutro ello se debe a que las armónicas de secuencia cero se suman en el neutro en vez de cancelarse como sucedería con cargas lineales balanceadas.
- Sobre la barra de neutro: Se sobrecarga debido a las armónicas de secuencia cero.
- Sobre el tablero de distribución: Calentamientos debido a corrientes parásitas que generan vibraciones y zumbidos.
- Sobre los capacitores empleados para corregir el factor de potencia: Debido a que los capacitores puede ser la impedancia más baja de un sistema, las armónicas pueden quemar los fusibles.
- Sobre los dispositivos de protección contra sobre-corrientes: Los dispositivos de protección contra sobre-corrientes como fusibles y desconectores son afectados por el calentamiento debido al efecto Kelvin por corrientes con alto contenido armónico.
- Sobre los dispositivos de protección: Estos se ven afectados por las armónicas provocando disparos en situaciones en las que no debiera



producirse este fenómeno, ello se debe al calentamiento adicional en el tablero generado por la circulación de corriente de la 3ª armónica en el conductor neutro.

- Sobre los instrumentos de medición: Las armónicas pueden provocar errores en la medición de energía cuando se utilizan equipos de inducción.
- Sobre los equipos electrónicos: Al distorsionarse su forma de onda los equipos pueden sufrir fallas en su funcionamiento.
- Sobre los reguladores de tensión: Muchos de estos dispositivos de control emplean circuitos que miden el punto de cruce por cero de las ondas de tensión o corriente, pero con un contenido elevado de armónicas puede haber muchos cruces, lo que provocaría la inestabilidad en la velocidad y en el control de frecuencia.

### **2.3.6 CONTINUIDAD (APAGONES)**

La electricidad tiene, como se sabe, un grave inconveniente con respecto a otros tipos de energía y es que no permite su almacenamiento en cantidades significativas, lo cual implica que hay que generarla y transportarla en el preciso momento de su utilización. Al no tener continuidad en el servicio se interrumpe completamente el suministro de energía eléctrica, tal interrupción puede durar segundos, horas o aún más, deteniendo muchos procesos



industriales, que finalmente se traducen en pérdidas económicas para la industria y para el país mismo.

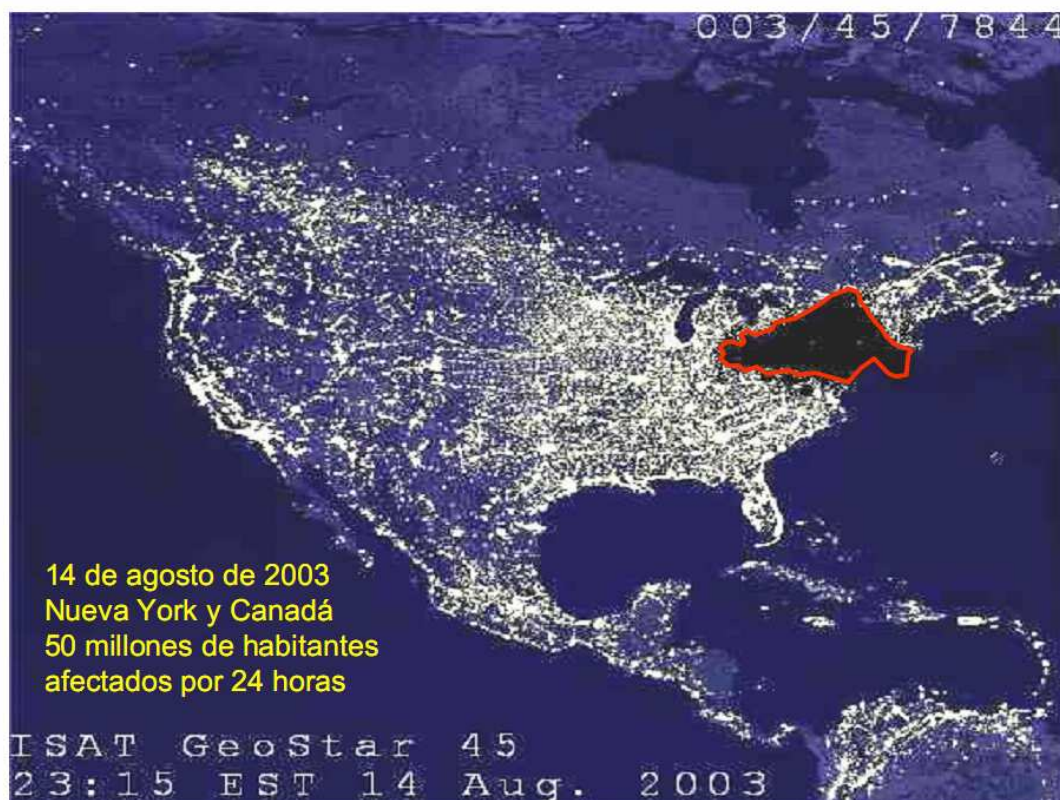


Figura 2.7 Apagón en Norte América, 2003.

Cabe mencionar que en Estados Unidos el costo de las pérdidas por fallas en el suministro de energía es del orden de 119 mil millones de dólares al año, y para el caso de América Latina, de entre 10 y 15 mil millones de dólares anuales.

En la tabla 2.1 se presentan costos estimados de interrupciones por tipo de empresa. De manera comparativa, en las fábricas de papel de



México, de un tamaño mediano (de acuerdo a su producción e ingresos), el costo por interrupciones en los procesos es de 10 a 20 mil dólares americanos por día, según la calidad del papel.

INDUSTRIA/EMPRESA	COSTO (USD/H)
Comunicaciones celulares	41,000
Venta de boletos por teléfono	72,000
Reservaciones de aerolíneas	90,000
Operaciones de tarjetas de crédito	2'580,000
Operaciones bursátiles	6'480,000
Fabricación de microchips	60'000,000

Tabla 2.1 Estimación de costos de interrupciones por tipo de empresa

Para suministrar la energía eléctrica con la calidad que el usuario requiere, es necesario que las empresas tomen las medidas necesarias para minimizar y, en su caso, eliminar, todas las causas que alteran el funcionamiento del sistema. Entre las medidas necesarias podemos citar las siguientes: tener capacidad de generación de reserva, instalar circuitos de respaldo, un adecuado sistema de protección, instalación de reguladores de tensión, compensadores de potencia reactiva, entre otras.

Por otra parte el mantenimiento preventivo y predictivo a todos los equipos y, especialmente, a los equipos de protección y de control, son parte de las herramientas que pueden utilizarse para asegurar una adecuada calidad de la energía eléctrica.



## **2.4.- LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA**

Todas las perturbaciones vistas hasta este momento tienen efectos negativos sobre la calidad de la energía en las redes de distribución de media y baja tensión.

La generación distribuida puede representar un medio para resolver problemas generados por las perturbaciones en la red, por ejemplo:

- Para regular la tensión el generador puede ser un buen medio de generación de reactivos por lo que puede reducirse y, en algunos casos, evitarse la conexión de capacitores, y con esto reducir los casos de resonancia armónica con los consabidos problemas.
- Los costos por transmisión y distribución se reducen, por ende se minimiza el costo final de la energía.
- Menores inversiones totales en infraestructura y mayor rapidez en su instalación.
- La presencia de la generación distribuida da como resultado redes eléctricas más robustas, lo cual trae como consecuencia redes menos sensibles a los disturbios que impactan a la calidad de energía eléctrica. Esta misma robustez también permite una mejor operación de los esquemas de protección.
- Menor impacto ambiental que el generado por un esquema centralizado tradicional, obtenido de la posibilidad de empleo de tecnologías en extremo limpias y eficientes, como es el caso de la biomasa y los



generadores eólicos, o por eliminarse las emisiones producidas por las pérdidas inherentes a los sistemas de transmisión y distribución. Todo lo anterior sin mencionar el hecho de la dificultad de encontrar nuevos corredores para líneas de transmisión, que impliquen un mínimo impacto en el medio ambiente.

En relación con la Generación Distribuida existen algunos aspectos que deben ser considerados para el desarrollo de la misma, entre los cuales se cuentan:

- Falta de conocimiento y experiencia del personal técnico y profesional nacional para la instalación, operación, mantenimiento y reparación, de algunos sistemas de Generación Distribuida, así como la carencia de redes de comercialización de equipos y repuestos,
- Por el cambio en la topología del sistema eléctrico, derivado de la conexión de equipos de Generación Distribuida en la red local, se tendrían que reconfigurar los ajustes de las protecciones eléctricas del sistema.
- Por ser tecnologías, que en la mayoría de los casos se encuentran aún en etapas de desarrollo e investigación, inicialmente se tendrán altos costos por unidad de potencia, comparados con las alternativas convencionales de Generación Eléctrica.

Las consideraciones anteriores han sido objeto de discusión y debate en el mundo y, frente a ellas, actualmente se cuenta con normas internacionales, como es el caso de la “IEEE 1001 Guide for Interfacing Dispersed Storage and Generation Facilities with Electric Utility Systems - Withdrawn 5/96”. Esta fue la única guía que parcialmente cubría la conexión de sistemas de



generación a redes de distribución. Este estándar incluía aspectos básicos de la calidad en el servicio, protección de equipos y seguridad. El estándar expiró y de tal modo en 1998, el IEEE Working Group SCCC221 P1547 comenzó a trabajar en recomendaciones generales para la interconexión de la generación distribuida, el IEEE Standard for interconnecting Distributed Resources with electric Power system. Cuatro años después, en septiembre de 2002, el grupo de trabajo finalmente completó el desarrollo de un nuevo estándar.

Así pues, este trabajo no pretende afirmar que la Generación Distribuida debe o será aplicada inminentemente en nuestro país, lo que se busca es presentar el entorno energético al que nos enfrentaremos. En este sentido, tratamos de anticipar el camino a seguir, presentando una alternativa que no solamente ayudará a mejorar la operación de los sistemas eléctricos, sino que también traerá un enorme beneficio ambiental.

Es necesario ver en la generación distribuida una oportunidad y no una amenaza y le demos la importancia que merece basada en las importantes implicaciones que su presencia puede tener en la planeación, diseño y operación de los sistemas eléctricos de potencia.







## CAPITULO 3

### 3.- BIOENERGÍA

#### 3.1.- ANTECEDENTES

Los problemas ambientales que afectan a nuestro planeta, se han incrementado en los últimos años debido, fundamentalmente, a la actividad humana: la quema de combustibles fósiles, la tala indiscriminada de los árboles, la contaminación del campo, de la atmósfera, de los ríos y de los mares, han traído, como consecuencia, la degradación del medio y la sobre explotación de los recursos naturales; por lo que la humanidad se enfrenta al reto de encontrar la solución a estos problemas y de recurrir a medios alternos para satisfacer sus necesidades energéticas.

Uno de los grandes problemas de la humanidad es su dependencia de los combustibles fósiles que, además de ser limitados y provocar un fuerte impacto ambiental, provocan diversos conflictos sociales y económicos.

En la tabla 3.1 se listan las fuentes primarias de energía.

<b>Renovables</b>	<b>No renovables</b>
Hidráulica	Carbón
Solar	Petróleo
Eólica	Gas Natural
Geotérmica	Nuclear
Biomasa	
Mareomotriz	

Tabla 3.1 Fuentes primarias de energía.



El hecho de que las fuentes no renovables se están agotando, por un lado, y por el otro el impacto negativo que tienen sobre el medio, hace necesario que se investiguen y utilicen formas alternas para la producción de energía recurriendo, principalmente, a las fuentes de energía renovable. El reto está en conseguir que éstas vayan sustituyendo paulatinamente a las fuentes no renovables.

La bioenergía es el tipo de energía renovable obtenida de los materiales derivados de fuentes biológicas, es decir, de la biomasa o biocombustible

La Biomasa es un recurso energético atractivo por varias razones:

- **Es un recurso renovable que podría ser desarrollado sosteniblemente en el futuro.**
- **Posee formidables características desde el punto de vista medioambiental, ya que reduce la cantidad de contaminantes lanzados a la atmósfera.**
- **Puede tener un potencial económico significativo frente al incremento del precio de los combustibles fósiles.**
- **Es fácil de almacenar, al contrario de lo que ocurre con las energías eólica y solar.**
- **Al utilizar los residuos orgánicos separados de la basura para formar la biomasa, se reduce el problema del manejo y disposición de aquella.**

Estas y otras bondades son las que nos permiten encontrar en la biomasa un recurso atractivo en la búsqueda de las fuentes alternas de energía.



### 3.2.- CONCEPTO DE BIOMASA

**Biomasa** por definición, según el Diccionario de la Real Academia Española, tiene dos acepciones.

1. f. Biol. Materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o volumen. (Utilizada habitualmente en Ecología)
2. f. Biol. Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. (Se refiere a biomasa 'útil' en términos energéticos: las plantas transforman la energía radiante del Sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esa energía química queda almacenada en forma de materia orgánica; la energía química de la biomasa puede recuperarse quemándola directamente o transformándola en combustible)

En términos energéticos, se puede utilizar directamente, como es el caso de la leña o indirectamente en forma de combustibles (biodiésel, bioalcohol, biogás, bloque sólido combustible). La 'biomasa' denomina la materia prima empleada en la fabricación de biocombustibles.

La biomasa es el nombre dado a cualquier materia orgánica de origen reciente que se haya derivado de animales y vegetales como resultado del proceso de conversión fotosintético o bioquímico tal como: madera de bosques, residuos de procesos agrícolas y forestales y de residuos orgánicos humanos o animales.

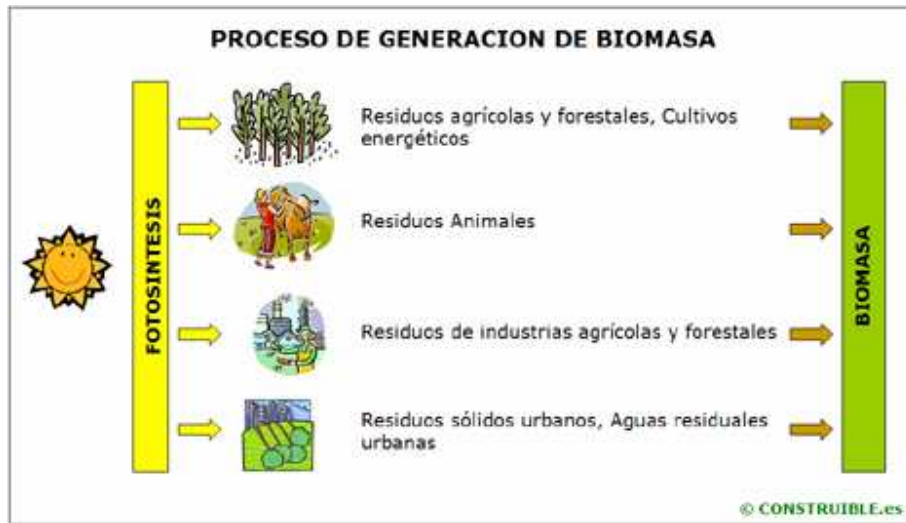
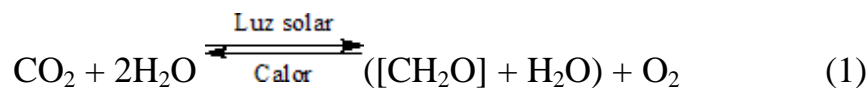


Figura 3.1 Proceso de generación de biomasa

La biomasa también puede considerarse como la energía solar convertida por la vegetación en materia orgánica, esta energía es recuperable por combustión directa o transformando la materia orgánica en otros combustibles. Se considera una fuente renovable de energía porque su valor proviene del sol. A través del proceso de fotosíntesis, la clorofila de las plantas captura su energía y convierte el dióxido de carbono  $\text{CO}_2$  del aire y el agua del suelo en carbohidratos, para formar materia orgánica. Este proceso químico se representa por medio de la ecuación (1).



Cuando estos carbohidratos se queman, regresan a su forma de dióxido de carbono y agua liberando la energía que contienen. De esta forma, la biomasa funciona como una especie de batería que almacena energía solar.



Estos carbohidratos, entre los que se encuentra la celulosa, constituyen los productos químicos primarios en el proceso de bioconversión de la energía solar, el principal producto de la fotosíntesis, obteniendo como producto final azúcares, almidones o celulosa.

Los cultivos dedicados exclusivamente a la producción de biomasa, a diferencia de los agrícolas tradicionales, tienen como características principales su gran productividad y su elevada rusticidad, expresada en características tales como resistencia a la sequía, a las enfermedades, vigor, precocidad de crecimiento, capacidad de rebrote y adaptación a terrenos marginales.

Los tipos de cultivos energéticos para la producción de biomasa son:

- Cultivos herbáceos: La amplia mayoría de cultivos tradicionales pueden ser utilizados para producción de biomasa, tanto cereales (cebada, avena, centeno, triticale, maíz) como oleaginosas (colza, girasol). Además, en la actualidad se barajan una serie de cultivos que no se han venido utilizando y que podrían ser interesantes para la producción de biomasa. Podemos citar como ejemplos al sorgo (*Sorghum spp*), la colza etíope (*Brassica carinata*), el cardo (*Cynara cardunculus*), el cáñamo (*Cannabis sativa*), el kenaf (*Hibiscus spp*), el miscanthus, el pasto del Sudán...Algunos de ellos son cultivos de secano (triticale, centeno, brassica carinata, cardo, etc.) y otros necesitan más o menos riego (sorgo, cáñamo, etc.).
- Cultivos leñosos: Los cultivos leñosos o arbóreos deben cumplir una serie de características para su desarrollo como cultivo energético:
  1. Facilidad de enraizar estaquillas.



2. Rápido crecimiento inicial.
3. Alta capacidad de rebrote y larga duración de las cepas.
4. Máxima adecuación a las características del terreno (suelo, riego, tratamiento).
5. Resistencia a enfermedades y plagas.
6. Alta capacidad de producir biomasa.

Son cultivos plurianuales. Normalmente suelen tener un rápido crecimiento y se suelen realizar aprovechamientos de biomasa cada 2 o 3 años. La implantación del cultivo es una fase con la mayor exigencia económica. Son cultivos que necesitan riego, al menos de apoyo. Su manejo se asemeja mucho a la biomasa forestal. Otras especies utilizadas son: eucaliptos, sauces, robinias, acacias, coníferas.

La celulosa es el material estructural de las plantas. La celulosa es la biomolécula orgánica más abundante ya que forma la mayor parte de la biomasa terrestre. A la celulosa corresponde más una tercera parte del peso de todos los árboles, pastos y pajas. Por ejemplo la celulosa representa hasta del 50% del peso seco de la madera (una vez extraída el agua).

La energía recuperable depende, desde el punto de vista bioquímico, tanto del contenido de carbohidratos como de la forma de estos en la biomasa. Por poner un ejemplo, la celulosa junto con la lignina y la hemicelulosa forman parte esencial de las paredes celulares de la madera, juntas constituyen el 95% de la madera, el 5% restante esta compuesto de aceites, azúcares, resinas, grasas, ceras, alcaloides, etc. Estas tres sustancias, de acuerdo con su contenido porcentual, son las que determinan la estructura y propiedades físicas de la madera, por ende la energía recuperable.



### 3.3.- TIPOS DE BIOMASA

Existen diferentes tipos o fuentes de biomasa que pueden ser utilizados para la producción de energía, una de las clasificaciones más aceptada es la siguiente:

- **Biomasa natural:** es la que se produce espontáneamente en la naturaleza, sin ningún tipo de intervención humana. Los recursos generados en las podas naturales de un bosque, constituyen un ejemplo de éste tipo.
- **Biomasa residual seca:** se incluyen en este grupo los subproductos sólidos no utilizados en las actividades agrícolas, en las forestales, en los procesos de las industrias agroalimentarias y de transformación de la madera que son considerados residuos. Este es el grupo que en la actualidad presenta un mayor interés, desde el punto de vista del aprovechamiento industrial. Algunos ejemplos de este tipo de biomasa, son la cáscara de almendra, el orujillo, las podas de frutales, el aserrín, etc.
- **Biomasa residual húmeda:** son los residuos denominados biodegradables: las aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos (principalmente purines).

**BIOMASA ENERGÉTICA O BIOCARBURANTE:** aunque su origen se encuentra en la transformación tanto de la biomasa residual húmeda (por ejemplo reciclado de aceites), como de la biomasa residual seca rica en azúcares (trigo, maíz, etc.), estos cultivos son realizados, con la única finalidad de producir biomasa transformable en combustible. Existen dos tipos de biocombustibles líquidos:





1.- El alcohol etílico obtenido por fermentación de materias primas ricas en azúcar (en adelante denominado BIOETANOL) y su derivado el etil-ter-butil-eter (ETBE), el cual puede sustituir al aditivo metil-ter-butil-eter (MTBE) que actualmente se está utilizando como producto oxigenado substitutivo del tetraetilo de plomo para mejorar el índice de octano de la gasolina.

2.- Los aceites vegetales (BIOACEITES), obtenidos de plantas oleaginosas, y los esteres metílicos o etílicos derivados de estos aceites, o de otras materias primas que contengan ácidos grasos, también denominados BIODIÉSEL.

Cabe mencionar que toda la biomasa se puede aprovechar para la generación de los bioenergéticos, pero la biomasa energética se presume como la más indicada para la producción de los bioenergéticos.

### **3.4.- TECNOLOGIAS DE CONVERSIÓN DE BIOMASA EN ENERGÍA**

Las tecnologías más adecuadas para convertir la biomasa en energía y los productos que se obtienen en ese proceso dependen, entre otros factores de:

- La clase de biomasa.
- Su contenido de humedad.
- De el proceso de conversión
- De el uso final del producto energético.

Algunos combustibles pueden obtenerse de la biomasa directamente por extracción (plantas productoras de hidrocarburos), pero es más normal



someter a la biomasa a distintas manipulaciones, según su naturaleza y contenido de humedad, para su transformación en combustible. Estas transformaciones pueden dividirse en tres grupos, de acuerdo con la naturaleza de los procesos implicados.

Los procesos de conversión de biomasa más relevantes son:

- Proceso de combustión directa
- Procesos bioquímicos
- Procesos termoquímicos

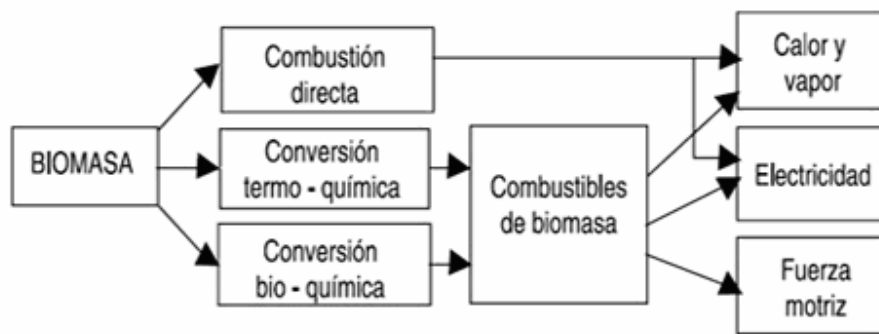


Figura 3.2 Procesos de conversión de biomasa.

### • 3.4.1 PROCESO DE COMBUSTIÓN DIRECTA

Esta es la forma más antigua y más común, hasta hoy, para extraer la energía de la biomasa. Los sistemas de combustión directa son aplicados para generar calor, el cual puede ser utilizado directamente, como por ejemplo para la cocción de alimentos o para el secado de productos agrícolas. Además, este se puede aprovechar en la producción de vapor para procesos industriales y electricidad.



Las tecnologías de combustión directa van desde sistemas simples, como estufas, hornos y calderas, hasta otros más avanzados como combustión de lecho fluidizado, este proceso permite quemar combustible de diversas características (bajo poder calorífico, alto contenido en cenizas) de forma eficiente y limpia. La combustión se lleva a cabo alimentando el combustible de forma continua a un lecho, compuesto generalmente por un material inerte que es fluidizado por una corriente ascendente de aire. La temperatura del lecho se mantiene entre  $750^{\circ}$  y  $900^{\circ}$  y es controlada eliminando el calor de combustión mediante cambiadores de calor que utilizan agua, vapor o aire como fluido de refrigeración.



Figura 3.3 Planta de gasificación de biomasa en lecho fluidizado

Los procesos tradicionales de este tipo, generalmente, son muy poco eficientes porque mucha de la energía liberada se desperdicia y pueden causar contaminación cuando no se realizan bajo condiciones controladas. Estos



resultados se podrían disminuir considerablemente con prácticas mejoradas de operación y un diseño adecuado del equipo. Asimismo, equipos como los hornos se pueden mejorar con la regulación de la entrada del aire para lograr una combustión mas completa y con asilamiento para minimizar las pérdidas de calor.

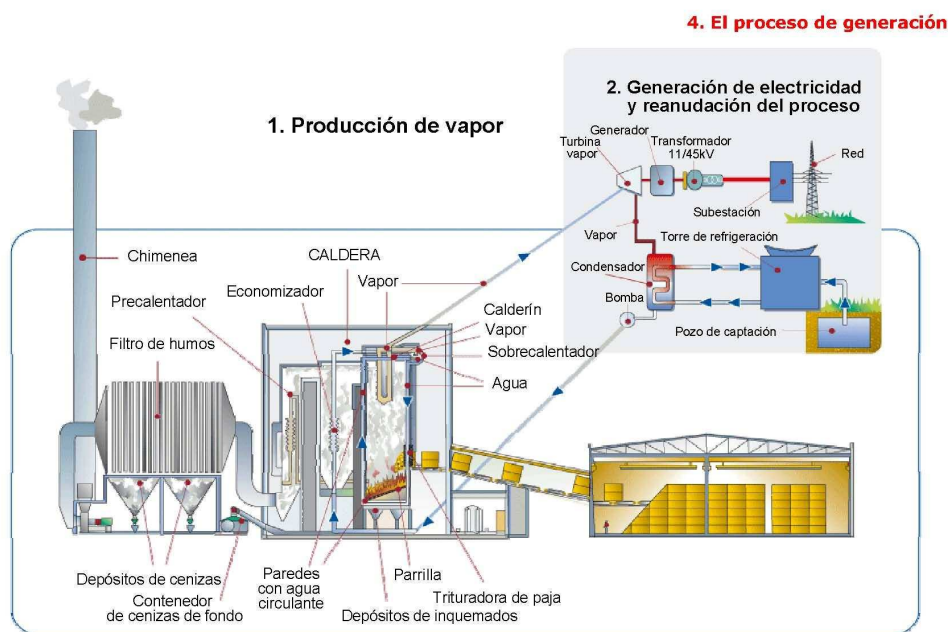


Figura 3.4 Producción de vapor.

• 3.4.2 PROCESOS BIOQUÍMICOS

Estos procesos utilizan las características bioquímicas de la biomasa y la acción metabólica de organismos microbiales para producir combustibles gaseosos y líquidos. Son más apropiados para la conversión de biomasa húmeda que los procesos termoquímicos.



Los más importantes son:

- **digestión:** la digestión de biomasa sin oxígeno (anaeróbico) produce un gas combustible llamado biogás. En el proceso se introduce la biomasa (generalmente residuos agrícolas y ganaderos) en un contenedor cerrado (el digester) y ahí se deja fermentar, produciéndose un gas, que es mezcla de metano y dióxido de carbono (biogás). La materia remanente dentro del digester es un buen fertilizante orgánico. En la figura 3.5 se muestra un digester .

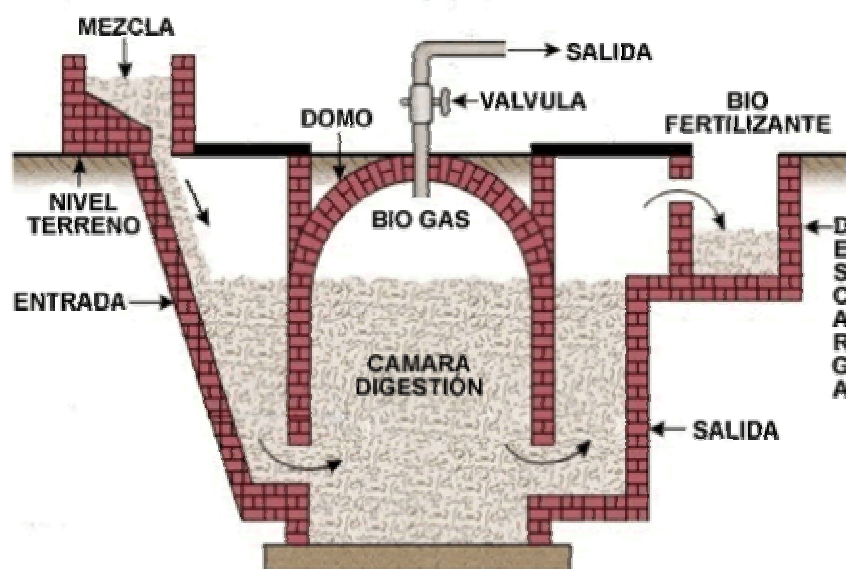


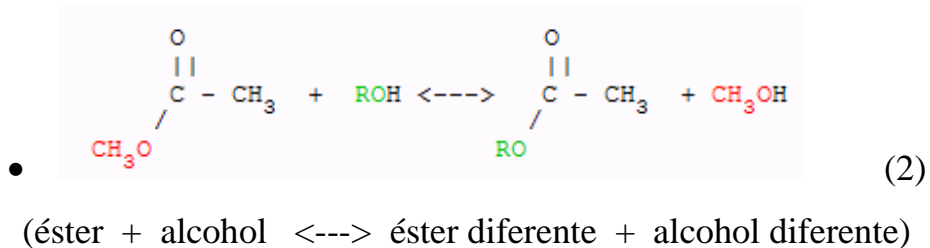
Figura 3.5 Digester

- **Combustibles alcohólicos:** de la biomasa se pueden producir combustibles líquidos como el etanol y metanol. El primero se produce por medio de la fermentación de azúcares y el segundo por la destilación destructiva de madera. Esta tecnología se ha utilizado durante siglos para la producción de licores y más recientemente para



generar sustitutos de combustibles fósiles para transporte. Estos combustibles se pueden utilizar en forma pura o mezclados con otros para transporte o para propulsión de maquinas.

- **Biodiésel:** a diferencia del etanol, que es un alcohol, el biodiésel se compone de ácidos grasos y ésteres alcalinos, obtenidos de aceites vegetales, grasa animal y grasas recicladas. A partir de un proceso llamado “transesterificación”, que es el proceso de intercambiar el grupo alcoxi de un éster por otro alcohol, los aceites derivados orgánicamente se combinan con alcohol (etanol o metanol) y se alteran químicamente para formar ésteres grasos como el etil o metilo éster. Como se ve en la ecuación (2).



- Estas reacciones son frecuentemente catalizadas mediante la adición de un ácido o una base. Estos pueden ser mezclados con diesel o usados directamente como combustibles en motores comunes. El biodiesel es utilizado típicamente, como aditivo del diesel en proporción del 20% aunque otras cantidades también sirven, dependiendo del costo del combustible base y de los beneficios esperados. Su gran ventaja es reducir considerablemente las emisiones, el humo negro y el olor.

- **Aprovechamiento de biogás de vertedero:** la fermentación de los residuos y la producción de biogás es un proceso natural y común



en los vertederos. El biogás extraído puede ser valorizado de forma similar al producido por las plantas de biogás.

### • 3.4.3 PROCESOS TERMOQUÍMICOS

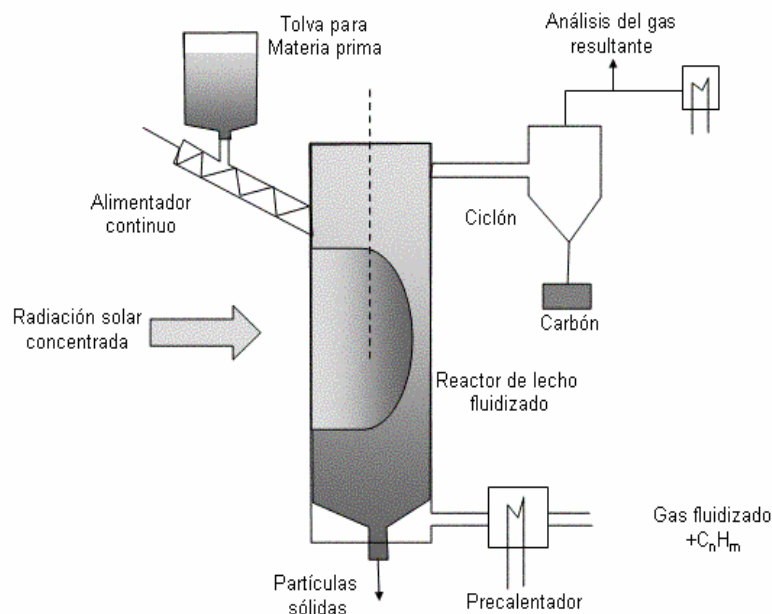
Cuando la biomasa es quemada bajo condiciones controladas, sin hacerlo completamente, su estructura se rompe en compuestos gaseosos, líquidos y sólidos que pueden ser usados como combustible para generar calor y electricidad. Dependiendo de la tecnología, el producto final es un combustible sólido, gaseoso, o combustible líquido. El proceso básico se llama pirólisis o carbonización e incluye:

- **Producción de carbón vegetal:** este proceso es la forma más común de la conversión termo-química de temperatura mediana. La biomasa se quema con una disponibilidad restringida de aire, lo cual impide que la combustión sea completa. El residuo sólido se usa como carbón vegetal, el cual tiene mayor densidad energética que la biomasa original, es, todavía, de amplio uso doméstico. Usualmente, este carbón es producido a partir de la madera, pero también se usan otras fuentes, como cáscara de coco y algunos residuos agrícolas. La forma más antigua y, probablemente, aún la más empleada para producirlo, es con los hornos de tierra y los de mampostería. El primero es una excavación en el terreno en la que se coloca la biomasa, la cual es luego cubierta con tierra y vegetación para prevenir la combustión completa. Los segundos son construidos de tierra, arcilla y ladrillo. Los hornos modernos son conocidos como retortas y fabricados en acero; conllevan cierta complejidad por su diseño y operación, lo que incrementa considerablemente los costos de



inversión, en comparación con los tradicionales, pero son más eficientes y con mayor capacidad y calidad de producción.

- **Gasificación:** tipo de pirólisis en la que se utiliza una mayor proporción de oxígeno a mayores temperaturas, con el objetivo de optimizar la producción del llamado “gas pobre”, constituido por una mezcla de monóxido de carbono, hidrógeno y metano, con proporciones menores de dióxido de carbono y nitrógeno. Este se puede utilizar para generar calor y electricidad, y se puede aplicar en equipos convencionales, como en motores de combustión interna. La composición y el valor calorífico del gas dependen de la biomasa utilizada, como por ejemplo: madera, cascarilla de arroz, o cáscara de coco. Existen diferentes tecnologías de gasificación y su aplicación depende de la materia prima y de la escala del sistema.



**Figura 3.6 Proceso de gasificación solar de partículas sólidas de carbón y/o biomasa.**

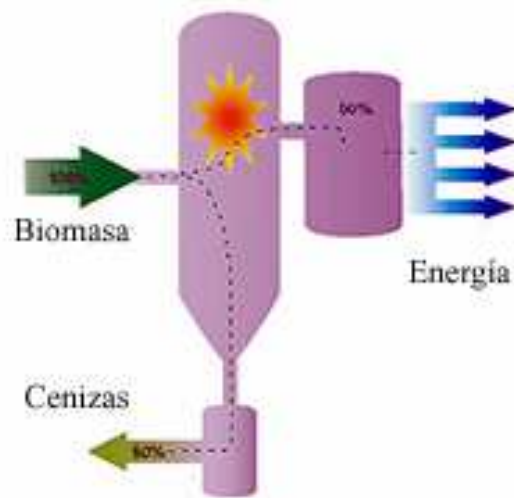




La gasificación tiene ciertas ventajas con respecto a la biomasa original, ya que el gas producido es más versátil y se puede usar para los mismos propósitos que el gas natural, puede quemarse para producir calor y vapor y puede alimentar motores de combustión interna y turbinas de gas para generar electricidad y se produce un combustible relativamente libre de impurezas y causa menores problemas de contaminación al quemarse.

Sin embargo, la operación de gasificación es más complicada. En principio, un gasificador simple puede ser construido en talleres metalmecánicos convencionales, pero se requiere experiencia y un prolongado período de ajuste para llevar el sistema a sus condiciones óptimas de operación.

- o La pirólisis (figura 3.7) se puede definir como la descomposición térmica de un material en ausencia de oxígeno o cualquier otro reactante. Esta descomposición se produce a través de una serie compleja de reacciones químicas y de procesos de transferencia de materia y calor. La pirólisis también aparece como paso previo a la gasificación y la combustión. A partir de la pirólisis pueden obtenerse diferentes productos secundarios útiles en función de la tecnología de tratamiento que se utilice.



Biomasa + calor  $\rightarrow$  Carbono + Líquido + Gases + Residuos

Figura 3.7 Esquema Proceso de Pirólisis

Cuando la biomasa se somete a un proceso de pirólisis se obtienen productos tales como:

- Gases: combustible gaseoso de bajo o medio poder calórico. El gas de calor específico bajo se puede emplear en motores de combustión interna y el de calor específico alto tanto en motores como en turbinas de gas. Estos Gases están compuestos principalmente de CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> y pequeñas cantidades de hidrocarburos ligeros.
- Líquidos: Bio-aceite combustible compuesto por una gran mezcla de distintos productos como pueden ser: cetonas, ácido acético, compuestos aromáticos, y otras fracciones más pesadas. Este Bio-aceite puede sustituir a los aceites combustibles o al diesel en muchas aplicaciones estáticas como calderas, hornos, motores diesel y turbinas.



- **Sólidos:** El producto sólido de la pirólisis es un residuo carbonoso (también conocido como “char”) que puede ser utilizado como combustible el cual se emplea directamente en la metalurgia y en fogatas domesticas.

Existen diferentes tipos de Pirólisis en función de las condiciones físicas en las que se realice. Así, factores como la velocidad de calentamiento, el tiempo de residencia, la presión, etc., tienen una influencia muy grande en la distribución de productos que se obtienen. Esto puede verse resumido en la siguiente tabla.

PIRÓLISIS	TIEMPO RESIDENCIA	VELOCIDAD CALENTAMIENTO	PRESIÓN BAR	TEMPERATURA °C MAX	PRODUCTO MAYORITARIO
Carbonización	Horas-días	Muy baja	1	400	Sólido
Convencional	5-30 min	Baja	1	600	Gas liq. y sólido
Fast	0.5-5 seg.	Muy alta	1	650	Líquido
Flash-líquido	<1 seg.	Alta	1	<650	Líquido
Flash-gas	<1 seg	Alta	1	>650	Gas
Ultra	<0.5 seg	Muy alta	1	1000	Gas P. Químico
Vacío	2-30 seg	Media	<0,1	400	Líquido

Tabla 3.1 Productos obtenidos mediante Pirólisis

La carbonización es quizá el proceso de pirólisis conocido desde hace más tiempo de todos los mostrados en el cuadro anterior, y



el que más importancia tiene industrialmente para la producción de carbón vegetal.

Todos los productos obtenidos tienen diferentes características, una de ellas que nos interesa, es el poder calorífico.

El poder calorífico es la cantidad de energía que la unidad de masa de materia puede desprender al producirse una reacción química de oxidación (quedan excluidas las reacciones nucleares, no químicas, de fisión o fusión nuclear, ya que para ello se usa la fórmula  $E=mc^2$ ). El poder calorífico expresa la energía máxima que puede liberar la unión química entre un combustible y el comburente y es igual a la energía que mantenía unidos los átomos en las moléculas de combustible, menos la energía utilizada en la formación de nuevas moléculas en las materias (generalmente gases) formadas en la combustión.

Con la pirólisis mediante procesos de velocidad de calentamiento muy baja, se puede producir carbón vegetal, con poder calorífico de 30 MJ/Kg (8.33 kWh/Kg) Con una velocidad de calentamiento Baja se produce bio-aceite y carbón con un poder calorífico de 20 MJ/Kg, hasta 30 MJ/Kg, y gas con un poder calorífico de 5 hasta 10 MJ/Kg. Mediante una velocidad de calentamiento rápida se produce carbón y gas, con un poder calorífico de 30 MJ/Kg y 10-20 MJ/Kg (2.77 kWh/Kg - 5.55 kWh/Kg).



La relación entre el poder calorífico y consumo eléctrico se obtiene con la equivalencia encontrada en la literatura  $1 \text{ kWh} = 3,600,000 \text{ joules}$ .

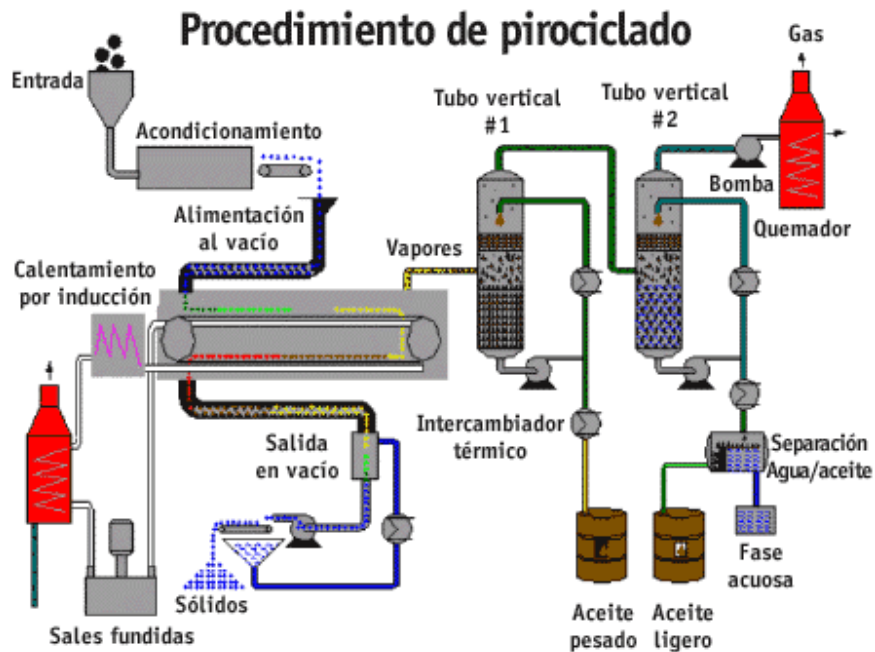


Figura 3.8 Proceso de Pirociclado.

La combustión de la biomasa es contaminante. En el caso de la incineración de basuras, la combustión emite a la atmósfera muchos contaminantes, algunos de ellos cancerígenos, como las dioxinas. El reciclaje y la reutilización de los residuos permitirán mejorar el medio ambiente, ahorrando importantes cantidades de energía y materias primas, a la vez que se trata de suprimir la generación de residuos tóxicos y de reducir envases.



### **3.5.- BENEFICIOS DE LA UTILIZACIÓN DE LA BIOMASA CON FINES BIOENERGÉTICOS**

- El balance de CO<sub>2</sub> emitido es neutro
- No emite contaminantes sulfurados o nitrogenados.
- La emisión de partículas sólidas a la atmósfera es mínima.
- Una parte de la biomasa para fines energéticos procede de materiales residuales que es necesario eliminar.
- Los cultivos energéticos sustituirán a cultivos excedentarios en el mercado de alimentos.
- La producción de biomasa es totalmente descentralizada, basada en un recurso disperso en el territorio, que puede tener gran incidencia social y económica en el mundo rural.
- Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles. La tecnología para su aprovechamiento cuenta con un buen grado de desarrollo tecnológico para muchas aplicaciones.
- Es un importante campo de innovación tecnológica. Las respuestas tecnológicas en curso están dirigidas a optimizar el rendimiento energético del recurso, minimizar los efectos ambientales de los residuos aprovechados y de las propias aplicaciones, incrementar la competitividad comercial de los productos y posibilitar nuevas aplicaciones de gran interés como los biocombustibles, entre otros.



### 3.6.- ASPECTOS TECNOLÓGICOS Y MEDIOAMBIENTALES DE LA BIOMASA

El uso del recurso “biomasa” supone una complicada mecanización, trabajos intensivos de mano de obra, y además, en el caso de los cultivos energéticos, maquinaria adaptada en muchos casos. Asimismo, es necesario que el recurso se encuentre en óptimas condiciones de humedad, densidad y granulometría para utilizarlo. Además, cada residuo necesitará un tipo de labor específica: astillado, trituración, compactación y/o secado.

<b>Producción del recurso</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Disminución del riesgo de incendios y plagas forestales (residuos forestales)</li><li>- Disminución de vertidos y riesgos ambientales (residuos de origen industrial)</li><li>- Minimización de riesgos por escaso laboreo (cultivos energéticos)</li></ul>
<b>Transformación energética</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Baja peligrosidad de las emisiones (ausencia de cloro y azufre en la biomasa)</li><li>- Balance neutro de CO<sub>2</sub> (con una central de generación eléctrica de 5 MW se evita la emisión a la atmósfera de unas 14.000 t/año de CO<sub>2</sub>)</li></ul>

Tabla 3.2 Aspectos medioambientales de la biomasa. Cuadro resumen







## CAPÍTULO 4

### 4.- TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA

Como ya se ha manejado a lo largo de este trabajo, la generación distribuida es aquella localizada cerca de los centros de consumo (figura 4.1).

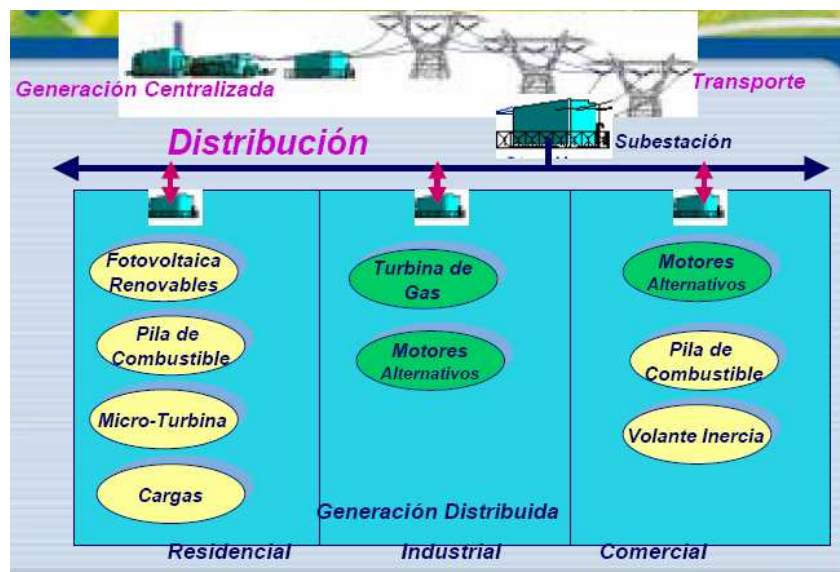


Figura 4.1 Panorámica del sistema con Generación Distribuida.

Las tecnologías de generación distribuida se pueden dividir en las de generación y las de almacenamiento (figura 4.2).

Las tecnologías de generación se dividen, a su vez, en convencionales y no convencionales. Las segundas se refieren a las energías no renovables.



Las tecnologías de almacenamiento comprenden a las baterías de acumuladores, los volantes de inercia, las bobinas superconductoras, imanes y almacenamiento a base de hidrógeno.

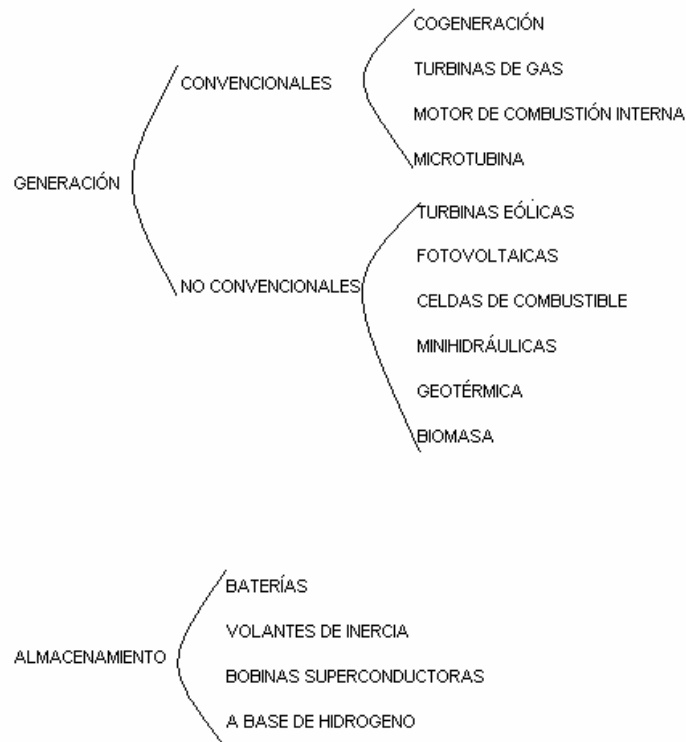


Figura 4.2 Generación y Almacenamiento.

A continuación se dará una breve descripción de dichas tecnologías.

## 4.1.- TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN

### 4.1.1.- COGENERACIÓN

Esta tecnología produce en forma secuencial energía eléctrica y térmica, donde esta última es útil a los procesos productivos en forma de un fluido caliente (vapor, agua, gases), obteniendo eficiencias globales de más del 80%.



Sus capacidades son muy amplias, debido al hecho de que utiliza todas las tecnologías que abarca la GD (figura 4.3).

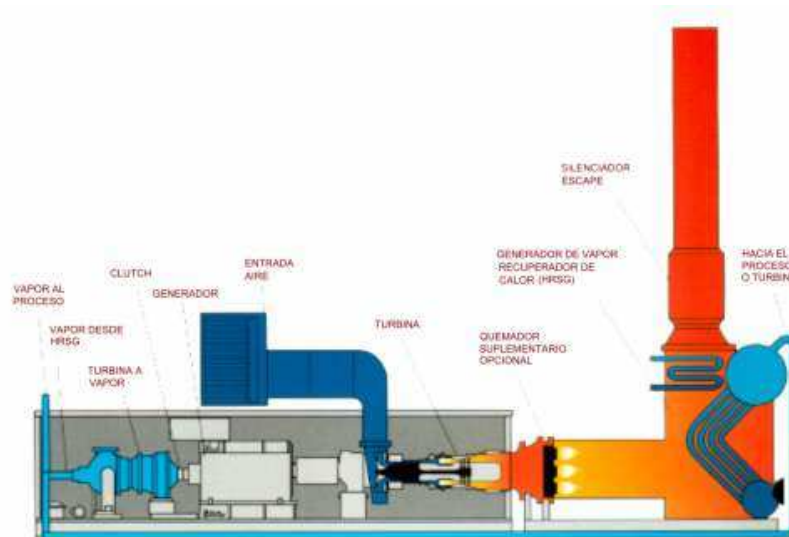


Figura 4.3 Cogeneración.

#### 4.1.2.- TURBINAS DE GAS

El combustible suele ser gas natural, aunque puede emplearse gas LP o diesel. Sus capacidades van de 265 Kw. a 50,000 Kw.; permiten obtener eficiencias eléctricas del 30% y eficiencias térmicas del 55%; las emisiones son algo inferiores a las de los motores, los gases de combustión tienen una temperatura de 600°C; ofrecen una alta seguridad de operación; tienen un bajo costo de inversión; el tiempo de arranque es corto (10 minutos); y requieren un mínimo de espacio físico (figura 4.4).



Figura 4.4 Turbina de Gas

Por otro lado, los gases de combustión se pueden utilizar directamente para el calentamiento de procesos, o indirectamente para la generación de vapor o cualquier otro fluido caliente.

- Tecnología probada de bajo costo
- Costos de mantenimiento de los más bajos de la GD
- Bajo nivel de emisiones contaminantes con sistemas desarrollados últimamente
- Producción de calor de buena calidad (alta temperatura)
- Opción muy atractiva de cogeneración para potencias  $> 5$  MW

#### **4.1.3.- MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA**

Los motores de combustión interna son los más utilizados para las plantas de emergencia. Utilizan diesel, gasóleo o gas natural; existen en capacidades de



15 Kw. a mayores de 20,000 Kw.; alcanzan eficiencias eléctricas del orden del 40% y eficiencias térmicas cercanas al 33%; su temperatura de gases de combustión es de 400°C; tienen un bajo costo de inversión, una vida útil de 25 años, alta eficiencia a baja carga, consumo medio de agua, poco espacio para instalación, flexibilidad de combustibles y su crecimiento puede ser modular.

- Tecnología probada de bajo costo
- Buen rendimiento eléctrico y recuperación del calor residual
- Buena capacidad de seguimiento de la carga eléctrica
- Motores de gas natural muy populares en Europa para cogeneración
- Sus emisiones han sido reducidas considerablemente
- Aplicaciones: cogeneración, picos y emergencia en potencias < 10 MW

Algunas desventajas:

- Costo de mantenimiento: es más alto entre las tecnologías de generación distribuida debido al gran número de partes móviles con las que cuenta.
- Las emisiones de NO<sub>x</sub> son las más altas entre las tecnologías de generación distribuida (10-20 partes por millón)
- El nivel de ruido es de baja frecuencia y más difícil de controlar que en otra tecnología; pero la atenuación es posible.

Ventajas:

- Bajo costo de inversión
- Alta eficiencia
- La cogeneración térmica o eléctrica es posible en edificios
- Su crecimiento puede ser modular.



#### 4.1.4.- MICROTURBINA A GAS

Una microturbina (figura 4.5) es una maquina de ciclo de Brayton que usa el gas natural como combustible.



Figura 4.5 Microturbina

Esta constituye una tecnología reciente de GD, ya que exceptuando a algunos fabricantes, el mercado está a varios años de su comercialización total.

Una de las características técnicas más notables de las microturbinas es su alta velocidad giratoria. Las capacidades van de 30-200 KW pero pueden estar combinadas fácilmente. Las temperaturas de combustión pueden asegurar niveles de emisiones NOx muy bajos. El nivel de ruido es comparablemente menor al de un motor a combustión.



Las microturbinas tienen cuatro modos distintos de operación: aislado de la red eléctrica, conectado a la red, en paralelo con exportación de energía, y de modo continuo o intermitente a la misma.

Sus principales características son: rango de 30 Kw. a 200 Kw. en una sola unidad; frecuencia de 1,600 RPM mantenimiento mínimo; sus unidades ocupan muy poco espacio; son ligeras; vibración mínima, prácticamente no hacen ruido; operan de 40,000 a 75,000 horas y pueden utilizar como combustible, además del gas natural, el keroseno, gasolina, etanol, diesel, propano, y biomasa. Una de sus principales características es la reducción de emisiones contaminantes: 9 partes por millón (p.p.m.) de NOx, 40 p.p.m. de CO y emisiones totales de hidrocarburos por debajo de las 9 p.p.m.

- Tecnología en proceso de introducción en el mercado (por probar)
- Derivadas de los sistemas auxiliares de los aviones y turbos de los camiones
- Multi-combustible y emisiones reducidas Rendimientos eléctricos < 30%
- Calor residual a temperatura relativamente alta
- Tamaño adecuado para edificios comerciales

#### **4.1.5.- MICROTURBINA HIDRÁULICA**

Una turbina hidráulica es una turbomáquina motora hidráulica, que aprovecha la energía de un fluido que pasa a través de sus álabes (se denomina **álabe** a cada una de las paletas curvas de una rueda) para producir un movimiento de rotación que, transferido mediante un eje, mueve directamente una máquina o



bien un generador que transforma la energía mecánica en eléctrica (figura 4.6).

Así, las microturbinas hidráulicas (figura 4.7) son centrales de bajas potencias, menores a 1 MW. Sus beneficios son la baja contaminación ambiental, mantenimiento mínimo y su rendimiento es mayor a las demás tecnologías de generación distribuida. Existe una clasificación de este tipo de centrales de acuerdo a su capacidad de generación:

- Mini centrales: Poseen una potencia superior a 100 KW e inferior a 1MW.
- Micro centrales: Poseen una potencia superior a 1 KW e inferior a 100 KW.
- Hidrocargadores: Su potencia es menor que 1 KW, generan electricidad en corriente continua.



**Figura 4.6** Álabes de una Turbina Hidráulica

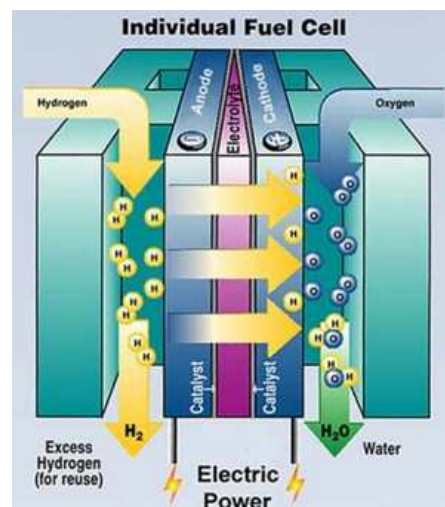




**Figura 4.7 Microturbina Hidráulica**

#### 4.1.6.- CELDA DE COMBUSTIBLE

Es un dispositivo donde se combina el hidrogeno y el oxigeno sin combustión para producir electricidad con la presencia de un catalizador, utilizan hidrógeno y oxígeno para generar electricidad, poseen una eficiencia de conversión muy alta comparadas con tecnologías convencionales (35%-65%). Su eficiencia limita las emisiones de CO<sub>2</sub>. El diseño es mostrado en la figura siguiente (figura 4.8).



**Figura 4.8 Celda de Combustible.**



Las celdas de combustible son muy caras para ser inmediatamente competitivas, pero los expertos en la industria indican que en producción masiva los precios pueden bajar. El costo de instalación no siempre debe ser el factor para decidir alguna tecnología, donde las regulaciones ambientales son muy estrictas, las celdas de combustibles puede ofrecer una solución única para producción limpia de electricidad.

Algunas desventajas de las celdas de combustible son el costo, ya que usan hidrogeno como combustible, los costos de mantenimiento también pueden ser muy elevados.

En contraste con estas, las ventajas pueden ser muy atractivas ya que las emisiones de NOx son muy bajas (<1partes por millón), la eficiencia es muy buena, además la cogeneración térmica o eléctrica es posible en procesos y en construcciones.

#### 4.1.7.- CELDA FOTOVOLTAICA

Las celdas solares convierten los fotones de la luz solar directamente en electricidad (figura 4.9).



Figura 4.9 Funcionamiento de una celda fotovoltaica.



Como la luz del sol es un recurso difuso, se necesitan grandes áreas para producir energía suficiente. Sin embargo, la tecnología de las celdas fotovoltaicas (PV) para la explotación de la energía solar es una de las fuentes renovables más conocidas. La potencia de un solo módulo varía entre 50 y 100 W y su eficiencia es de hasta un 15%. La estructura de un sistema PV está constituida por un número de módulos dispuestos en una estructura en paralelo y en serie. A diferencia de otras unidades de generación distribuida, los sistemas fotovoltaicos poseen un costo de inversión alto, y de operación muy bajo.

Las ventajas de los sistemas fotovoltaicos incluyen operación libre de emisiones, no hay consumo de combustible fósil, la temperatura de la cogeneración térmica es baja (usando módulos integrados en edificios), excelente modularidad, mantenimiento insignificante, excepto donde las baterías están involucradas, y una alta eficiencia.

Las desventajas del uso de celdas fotovoltaicas son, el precio de la energía entregada excede al de otras tecnologías de generación distribuida, para realizar la conversión de la energía comúnmente es necesario contar con baterías y otros dispositivos.

#### **4.1.8.- GENERADORES EÓLICOS**

Es la tecnología de generación de electricidad con crecimiento más rápido en el mundo. Casi 4.2 GW de capacidad fue instalada durante el año 2000. El potencial del viento es algunas veces considerado como GD, debido al tamaño y localización de algunos parques eólicos susceptibles de conectarse al sistema de distribución, en la figura 4.10 se muestra el esquema de un generador eólico.

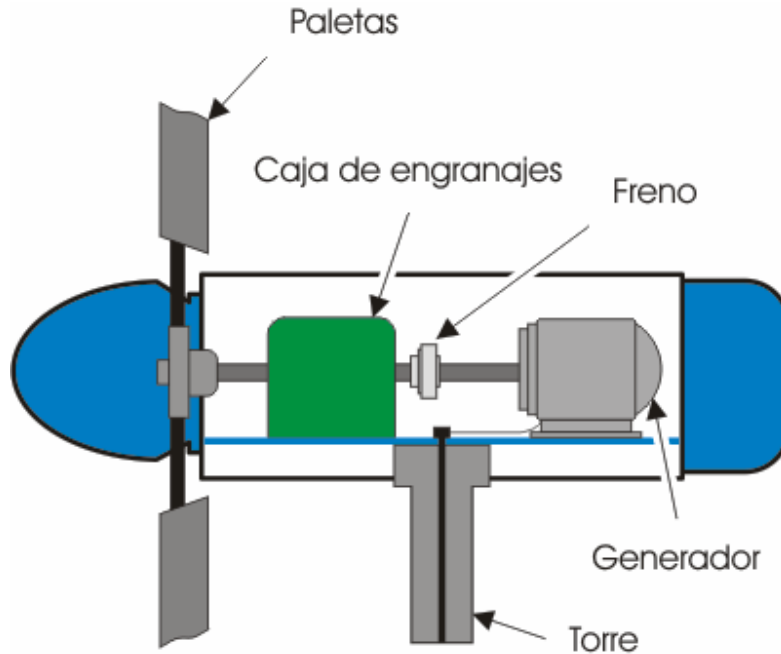


Figura 4.10 Generador Eólico.

## 4.2.- TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO

### 4.2.1.- BATERÍAS

Son, entre otros, los acumuladores convencionales de plomo – ácido (figura 4.11) y las de níquel – cadmio, que presentan una densidad de energía almacenada del orden de 30 Wh/kg. Existen varios tipos de baterías en desarrollo, como las de sodio - azufre que alcanzan valores de densidad de 60 a 150 Wh/kg; las de zinc – aire con valores de 80 a 100 Wh/kg; y las de flujo (redox) o pilas de combustible regenerativas, que son las de zinc – bromo – cloro y las de bromuro de sodio – polisulfuro de sodio.

Ventajas:



- Alta capacidad energética.
- Alta corriente.

Desventajas:

- Alto mantenimiento.
- Vida y ciclos limitados.
- Dificultad de determinar estado de carga.

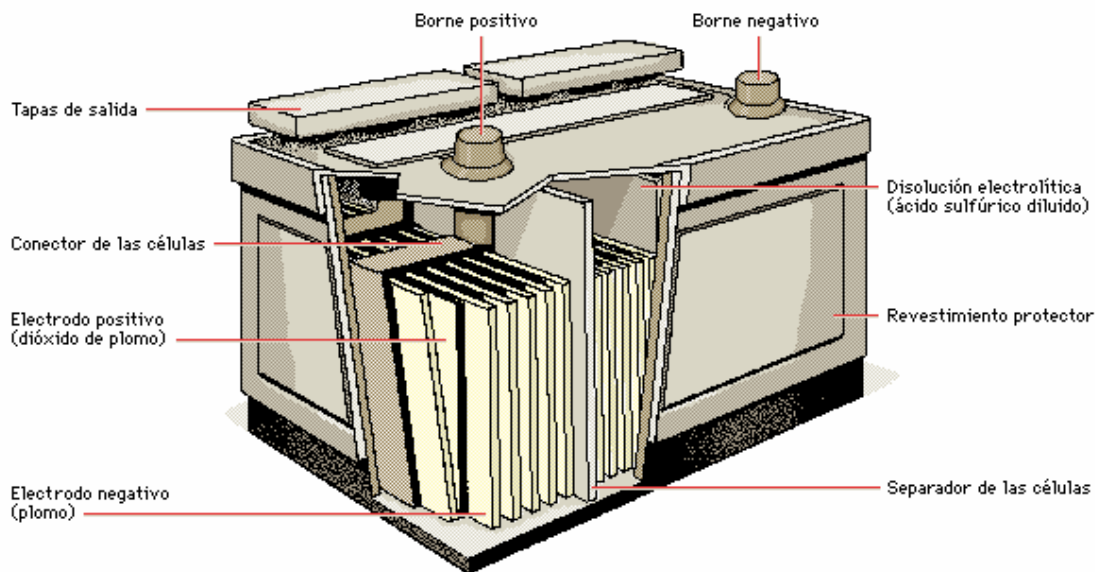


Figura 4.11 Batería.

#### 4.2.2.- VOLANTES DE INERCIA

Es un elemento totalmente pasivo, que únicamente aporta al sistema una inercia adicional de modo que le permite almacenar energía cinética. Este volante continúa su movimiento por inercia cuando cesa el par motor que lo propulsa. De esta forma, el volante de inercia se opone a las aceleraciones bruscas en un movimiento rotativo. Así se consiguen reducir las fluctuaciones de velocidad angular.



Almacenan energía en forma de energía cinética de rotación. Los volantes modernos se utilizan en dispositivos de muy alta velocidad como absorber la energía de frenado de un vehículo, de modo que se reutilice posteriormente en su aceleración. En los ferrocarriles eléctricos que usan desde hace mucho tiempo un sistema de freno regenerativo que alimenta la energía extraída del frenado nuevamente a las líneas de potencia; con los nuevos materiales y diseños se logran mayores rendimientos en tales fines. También se usa en algunas prensas mecánicas. (figura 4.12).

Existen volantes de baja velocidad (7,000 r.p.m.) de acero de alta resistencia, Los volantes avanzados son de fibra de alta resistencia y baja densidad, giran a alta velocidad (más de 50,000 r.p.m.).

**Ventajas:**

- Gran capacidad de corriente.
- Gran capacidad de energía.

**Desventajas:**

- Alto mantenimiento.
- Alto costo.
- Requiere grandes medidas de seguridad.



Figura 4.12 Volante de Inercia.

#### **4.2.3.- BOBINAS SUPERCONDUCTORAS**

Mediante esta tecnología, la energía se almacena en forma de campo electromagnético, el cual es creado por la acción de bobinas superconductoras. Los materiales superconductores pueden ser de baja temperatura, del orden de los  $4^{\circ}\text{K}$ , o de alta temperatura,  $77^{\circ}\text{K}$ .

Ventajas:

- Bajo mantenimiento.
- Gran número de ciclos.



- Fiabilidad.

Desventajas:

- Requieren sistema de enfriamiento.
- Costos muy altos.
- Requieren equipamiento adicional.

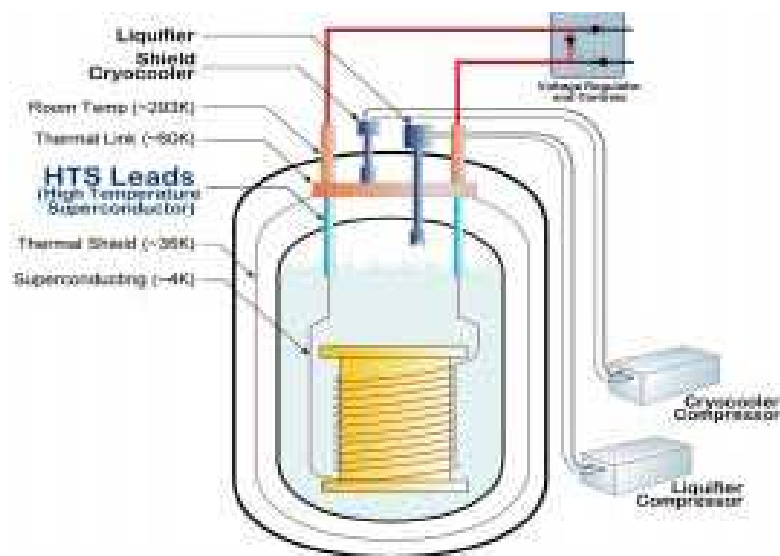


Figura 4.13 Bobina Superconductora







## **CAPITULO 5**

### **5.- GENERACION DISTRIBUIDA CON BIOMASA**

Como lo definimos con anterioridad, la generación distribuida es la generación de energía eléctrica en las proximidades de los centros de consumo, por medio de alguna de la tecnologías vistas en el Capítulo 4, utilizando el combustible obtenido por medio de los diferentes procesos vistos en capítulo 3, por ejemplo, los gases, sólidos y líquidos obtenidos a partir de la biomasa.

El combustible así obtenido, puede usarse para poner en funcionamiento motores de combustión interna, turbinas, etc., para obtener calor y para producir electricidad, con la ventaja de que estos combustibles, a diferencia de los convencionales, emiten a la atmósfera una cantidad menor de contaminantes, es decir que, con esto, se tiene una forma limpia de obtener energía.

#### **5.1.- VENTAJAS MEDIO AMBIENTALES DEL USO DE LA BIOMASA PARA LA GENERACION DISTRIBUIDA**

Entre las ventajas de uso de la biomasa, podemos citar las siguientes:

- Las personas, el comercio y la industria, todos somos productores de basura; pero, para disminuir los graves problemas que ésta acarrea, es necesario desarrollar la cultura del reciclaje separando los residuos orgánicos e inorgánicos y creando centros de recolección de residuos. En estos centros se seleccionarán los residuos y se les asignará la ruta



más conveniente para su reutilización. Así, con este sencillo proceso tendremos una fuente de biomasa. Esta es una primera ventaja medio ambiental, ya que a la basura se le daría un uso adecuado y no como tradicionalmente se hace, enterrándola en tiraderos, donde, al combinarse con el agua de lluvias, contamina los mantos acuíferos.

- Los residuos de la conversión de la biomasa pueden usarse como fertilizantes para la recuperación de suelos agotados ó infértiles. Esta es la segunda ventaja importante: la recuperación de suelos.
- Una tercera ventaja será el desarrollo de cultivos energéticos. Estos cultivos tendrán dos destinos: uno, proveer productos para el consumo humano y otro, obtener biomasa para la generación de energía.
- La generación distribuida es un modelo donde la energía renovable es la opción más conveniente para hacer un uso eficiente de los recursos naturales.
- Disminución de emisiones contaminantes, permitiendo así, cumplir con lo establecido en el Protocolo de Kyoto.

Por todo esto podemos decir que la generación distribuida es un factor importante en la disminución de los impactos ambientales.

## **5.2.- VENTAJAS TECNOLÓGICAS DE LA GENERACION DISTRIBUIDA USANDO BIOMASA COMO COMBUSTIBLE**

La aplicación de una u otra tecnología en la generación distribuida da como resultado grandes ventajas a los sistemas eléctricos:

- Electrificación de zonas aisladas y rurales caracterizadas por bajos niveles de carga, a las cuales es difícil o muy costoso llevar la energía



eléctrica por medios convencionales. Además es posible la creación de puestos de trabajo en estas zonas para la operación de los equipos.

- En casos de emergencia pueden suplir o ayudar a mitigar colapsos en el sistema eléctrico.
- Puede ser utilizada para generar energía eléctrica en forma continua, generación base; y operar en paralelo con la red de distribución (Interconexión).
- Proporcionar potencia a la hora de la demanda máxima. Se puede utilizar para suministrar la energía eléctrica en períodos de punta, ya que el costo de la energía en este período es el más alto.
- Aumento de la confiabilidad de la red de distribución y de la calidad del servicio eléctrico al contar con energía disponible cerca de los usuarios.
- El uso de la generación distribuida disminuye drásticamente las pérdidas de energía en el transporte y la distribución.
- La generación distribuida hará al sistema eléctrico menos vulnerable a desastres naturales o provocados.
- A esto podemos añadir la conveniencia de la generación distribuida para proyectos de cogeneración (figura 5.1). La cogeneración se define como la producción secuencial de energía eléctrica y/o mecánica y de energía térmica aprovechable en los procesos industriales a partir de una misma fuente de energía primaria, y es, actualmente, una alternativa de conservación de energía para la industria, acorde con las políticas de globalización económica regional y a la política internacional orientada a lograr un desarrollo sustentable. En una planta de generación termoeléctrica se quema normalmente un combustible fósil para producir vapor a alta temperatura y presión, el cual se hace pasar por



una turbina para generar energía eléctrica. En este proceso, aún en las plantas más eficientes, se obtiene energía eléctrica equivalente al 40% de la energía disponible como calor en el combustible; el resto se descarga a la atmósfera, mediante los gases producto de la combustión que salen por la chimenea del generador de vapor y en los sistemas de condensación y enfriamiento del ciclo termodinámico. Aunque la cantidad de calor que se desecha a la atmósfera es muy grande, es de baja temperatura relativa, en otras palabras de baja capacidad para realizar un trabajo útil dentro de las plantas generadoras. La mayoría de los procesos industriales y aplicaciones comerciales, requieren de vapor y calor a baja temperatura. Así ellos pueden combinar la producción de electricidad y calor para los procesos, aprovechando la energía que de otra forma se desearía, como ocurre en las centrales termoeléctricas convencionales; a esta forma de aprovechar el calor de desecho se le conoce como cogeneración.

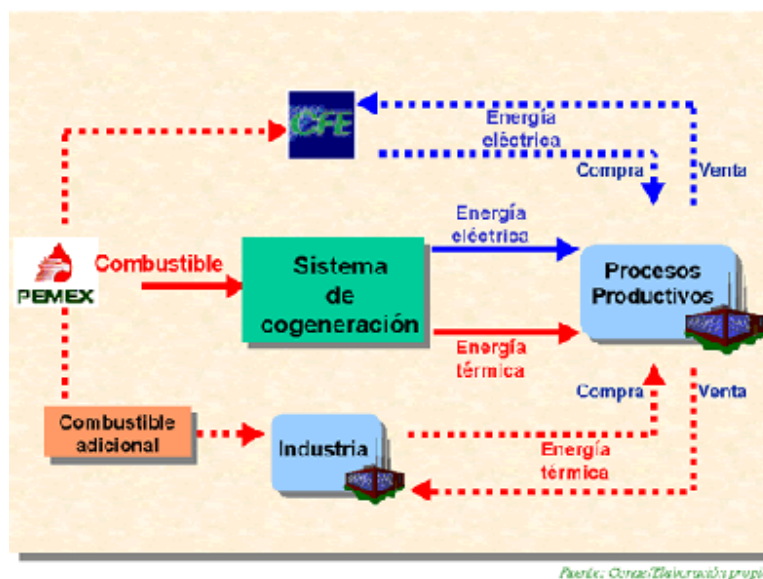


Figura 5.1 Cogeneración



Las principales ventajas de la cogeneración son:

- Mayor regulación de tensión.
- Menor saturación.
- Reducción del índice de fallas.
- Disminución de inversión.

A pesar de todas sus ventajas, la generación distribuida con biomasa no se ha desarrollado satisfactoriamente.

### **5.3.-DESARROLLO DE LA GENERACION DISTRIBUIDA CON BIOMASA**

La generación distribuida, aunque no es barata, hace posible, con inversiones pequeñas, alcanzar gradualmente grandes objetivos y para conseguir una mayor popularización de este sistema se sugieren varias ideas donde se deja en claro que las principales barreras no son de carácter tecnológico, sino también de mentalidad y capacidad organizativa:

- Es necesario cambiar el modelo energético actual: las instituciones encargadas del sector energético deben hacer conciencia de las ventajas económicas y medio ambientales de esta tecnología, así podrán ponerse en marcha mecanismos legales que faciliten el desarrollo de la infraestructura para insertar a la generación distribuida con biomasa en el sector energético, mejorando las condiciones del Sistema Eléctrico Nacional.
- Aunque esta tecnología puede resultar más cara que las convencionales, es necesario impulsar su utilización, ya que, el uso masivo de la misma, repercutirá en la reducción de los costos. Además, una estandarización



de los componentes, de la interconexión y de los permisos de instalación facilitará su producción e implementación. La producción en masa hará las unidades de la generación distribuida disponibles para comprarlas e instalarlas en un tiempo muy corto. Para que la tecnología sea viable, es necesario disponer de una fuente de biomasa cercana a la red o los consumidores.

- En cuanto la generación distribuida esté conectada a la red, un control más estricto es necesario ya que la función y el mantenimiento de la red de la distribución es más complejo.
- La inclusión de la generación distribuida implica un nuevo análisis de coordinación de protecciones.

#### **5.4 PANORAMA MUNDIAL**

En el contexto internacional el uso de la GD ha sido impulsada por diversos factores. De acuerdo con datos de la CIGRE de 1999, en diversos países del mundo se ha incrementado el porcentaje de la potencia instalada de GD, en relación con la capacidad total instalada. Así, en países como Dinamarca y Holanda, alcanza valores de hasta el 37%, y en otros, como Australia, Bélgica, Polonia, España y Alemania, tan solo del 15% y en el caso de Estados Unidos, del 5%.

Se estima que en los próximos 10 años el mercado mundial para la GD será del orden de 4 a 5 mil millones de dólares.

Estudios del Electrical Power Research Institute y del Natural Gas Foundation prevén que, de la nueva capacidad de generación eléctrica que se instalará al año 2010 en Estados Unidos, del 25% al 30% será con GD.



Con base en estimaciones de la Agencia Internacional de Energía, los países desarrollados serán responsables del 50% del crecimiento de la demanda de energía eléctrica mundial en los próximos 20 años, equivalente a 7 millones de MW, donde el 15% de esta demanda le corresponderá a GD.

## **5.5 PANORAMA EN MÉXICO**

Desde 1989, en México se han ido estableciendo instituciones y poniendo en funcionamiento programas y proyectos, con el fin de promover el ahorro de energía eléctrica y hacer más eficiente el Sistema Eléctrico Nacional, que han tenido resultados importantes. Dentro de las acciones que han contribuido a esta reducción de la intensidad energética en el país, resaltan las que han sido iniciativas de sector público y que se mencionan a continuación.

### **5.5.1 NORMAS OFICIALES MEXICANAS PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA**

En México están en vigor 18 Normas Oficiales Mexicanas (ver tabla 5.1) que se aplican a más de 5 millones de unidades de equipos y sistemas que se venden cada año en el territorio nacional. La existencia de las NOM se ha reflejado en un ahorro de energía muy significativo. Con la aplicación efectiva de las NOM de eficiencia energética, se estima que para 2014, se alcanzarán ahorros acumulados de 33,226 GWh en el consumo de energía eléctrica.





Norma/equipo o sistema	Entrada en vigor	Unidades vendidas en 2005*	Ahorros		
			Por unidades vendidas en 2005	Por unidades eficientes acumuladas	
				(GWh)	(GWh)
NOM-001-ENER-2000 Bombas verticales	XII/2000	2,736	7	130	46
NOM-004-ENER-1995 Bombas centrifugas	VII/1996	384,658	1	32	97
NOM-005-ENER-2000 Lavadores de ropa	X/2000	1,830,238	97	436	0
NOM-006-ENER-1995 Sistemas de bombeo	XI/1996	NA	NA	2,312	52
NOM-007-ENER-1995 Alumbrado en edificios	IX/1996	NA	141	1,084	45
NOM-008-ENER-2001 Edificios no residenciales	V/2001	NA	54	197	48
NOM-010-ENER-1996 Bombas sumergibles	VI/1996	1,275	12	96	30
NOM-011-ENER-2002 Acondicionadores de aire tipo central	X/2002	11,402	34	204	27
NOM-013-ENER-1996 Alumbrado en vialidades	V/1996	NA	1	19	4
NOM-014-ENER-1997 Motores monofásicos	VII/1996	402,029	40	298	235
NOM-015-ENER-2002 Refrigeradores y congeladores	V/2003	1,792,197	691	4,873	997
NOM-016-ENER-2002 Motores trifásicos	II/2003	189,262	204	1,992	658
NOM-017-ENER-1997 Lámparas fluorescentes	VI/1996	159,432	41	120	4
NOM-018-ENER-1997 Aislantes térmicos para edificaciones	X/1996	NA	3	76	7
NOM-021-ENER/SCFI/ECOL-2000 Acondicionadores de aire tipo cuarto	V/2001	533,365	237	1,670	232
NOM-022-ENER/SCFI/ECOL-2000 Aparatos de refrigeración comercial	V/2001	456,835	199	712	85

Tabla 5.1 Normas Oficiales Mexicanas relacionadas eficiencia energética.

### 5.5.2 EL HORARIO DE VERANO

El horario de verano consiste en adelantar el reloj una hora a escala nacional durante los meses de mayor insolación, con el fin de aprovechar mejor la luz solar y, con ello, reducir el consumo de electricidad que implica la iluminación artificial en horas pico del Sistema Eléctrico Nacional.

El horario de verano consiste en adelantar el reloj una hora a escala nacional durante los meses de mayor insolación, con el fin de aprovechar mejor la luz solar y, con ello, reducir el consumo de electricidad que implica la iluminación artificial en horas pico del Sistema Eléctrico Nacional.

Con su aplicación se optimiza la utilización de la infraestructura eléctrica, a la vez que permite aplazar las inversiones en nuevas plantas generadoras. Asimismo, contribuye a disminuir el uso de energéticos primarios para la generación de electricidad y reducir las emisiones



contaminantes asociadas. Además, favorece la convivencia familiar y el desarrollo de actividades personales.

Desde que se implantó la medida en 1996, el IIE (Instituto de Investigaciones Eléctricas) y la CFE han evaluado los beneficios energéticos y ambientales alcanzados por el programa. De manera acumulada, en el periodo de 1996-2004 se han obtenido ahorros del orden de 9,832 GWh de energía y 898 MW de disminución en demanda máxima coincidente (véase tabla 6). Se espera que en 2014 los ahorros de energía sean del orden de 1,558 GWh y 1,488 MW de demanda evitada.

Año	Ahorro de energía (GWh)	Demanda evitada acumulada (MW)
1996	943	529
1997	1,100	550
1998	1,012	683
1999	1,092	613
2000	1,182	823
2001	933	908
2002	1,118	900
2003	1,165	935
2004	1,287	898
2005**	1,314	929
2006	1,341	1,040
2007	1,368	1,096
2008	1,395	1,152
2009	1,422	1,208
2010	1,449	1,264
2011	1,476	1,320
2012	1,504	1,376
2013	1,531	1,432
2014	1,558	1,488

Tabla 5.2 Ahorros con la aplicación del Horario de Verano



### **5.5.3 EL PROGRAMA DE AHORRO DE ENERGÍA EN INMUEBLES DE LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA FEDERAL**

Este es un programa obligatorio que se establece en 1999 para los inmuebles más grandes de la Administración Pública Federal y que opera la CONUEE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, antes CONAE) Para el año 2006 se había incorporado a más de 2,000 edificios públicos. El programa, que hace obligatorio el informe sobre la evolución de los consumos eléctricos de los inmuebles y de las medidas realizadas, ahorra cada año cerca de 211 GWh de consumo de electricidad.

### **5.5.4 ASI**

Este programa se aboca al financiamiento de la instalación masiva de aislamiento térmico, así como de equipos eficientes, tales como aires acondicionados, refrigeradores y lámparas compactas fluorescentes en casas de usuarios con altos consumos de Mexicali, Baja California. Los créditos otorgados por el FIPATERM en forma acumulada hasta el primer trimestre de 2004, ascendieron a 94 mil créditos.

### **5.5.5 ILUMEX**

Bajo el liderazgo de CFE y con el apoyo del Global Environmental Facility (GEF) del Banco Mundial, se diseñó e implantó en México, en 1995, un programa de gran alcance, orientado a la instalación de lámparas compactas fluorescentes, que se aplicó en Jalisco y Nuevo León. Como resultado de este programa, se instalaron más de dos y medio millones de lámparas compactas



fluorescentes, con lo que se logró un ahorro de más de 300 millones de kWh y una reducción significativa de gases de efecto invernadero.

### **5.5.6 PROGRAMA DE INCENTIVOS DE FIDE**

Este es un programa que contó con recursos provenientes de un préstamo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), que se utilizaron para otorgar bonificaciones económicas a los usuarios que adquirieran tecnologías de alta eficiencia. Con este programa se logró transformar el 100% del mercado de motores trifásicos de inducción, el 40% de los sistemas de iluminación (lámparas fluorescentes tipo T-8 y balastos de bajas pérdidas) y el 80% de los equipos de aire comprimido con capacidades mayores a 20 HP.

### **5.5.7 GENERACIÓN DISTRIBUIDA**

Los problemas que enfrentaba Luz y Fuerza (Figura 5.2) para garantizar la confiabilidad del suministro eléctrico en la zona metropolitana se conocen desde hace varios años. Como ha sucedido en los últimos años en todas las zonas metropolitanas del país, el crecimiento de la vivienda ha generado una fuerte demanda de suministro de energía eléctrica. La ausencia de una debida planeación urbana y la proliferación de asentamientos irregulares complican el problema. Sin embargo, las ciudades ubicadas en zonas del país atendidas por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) han logrado escapar mayormente de la crisis. No así las ciudades ubicadas en el área de servicio de la extinta Luz y Fuerza del Centro. En su último informe publicado (del primer semestre de 2007), Luz y Fuerza reconocía la existencia de 22 zonas críticas a lo largo y ancho de su zona de cobertura, incluyendo lugares como Pachuca, Tula,



Tizayuca (Hgo.), Toluca (Edo. Mex.), la delegación Benito Juárez, Zaragoza, Coapa y el corredor Reforma (en la ciudad de México).



### Zona de Influencia LyFC

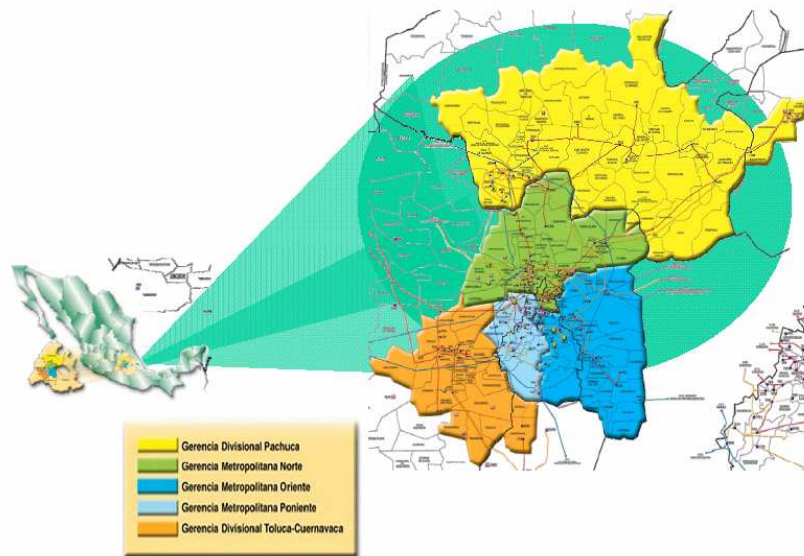


Figura 5.2 Zona de Influencia de LyFC

Parte del problema está relacionado con el hecho de que la energía eléctrica distribuida y comercializada por Luz y Fuerza proviene de plantas generadoras que se ubican a distancias de entre 200 y 500 kilómetros de distancia (Figura 5.3). Es más complicado darle confiabilidad a una red cuyas fuentes de generación se ubican en lugares lejanos. A lo anterior, súmese un problema crónico de robo de energía, que se refleja en una red eléctrica metropolitana de la que múltiples usuarios irregulares que cuelgan sus “diablitos”.

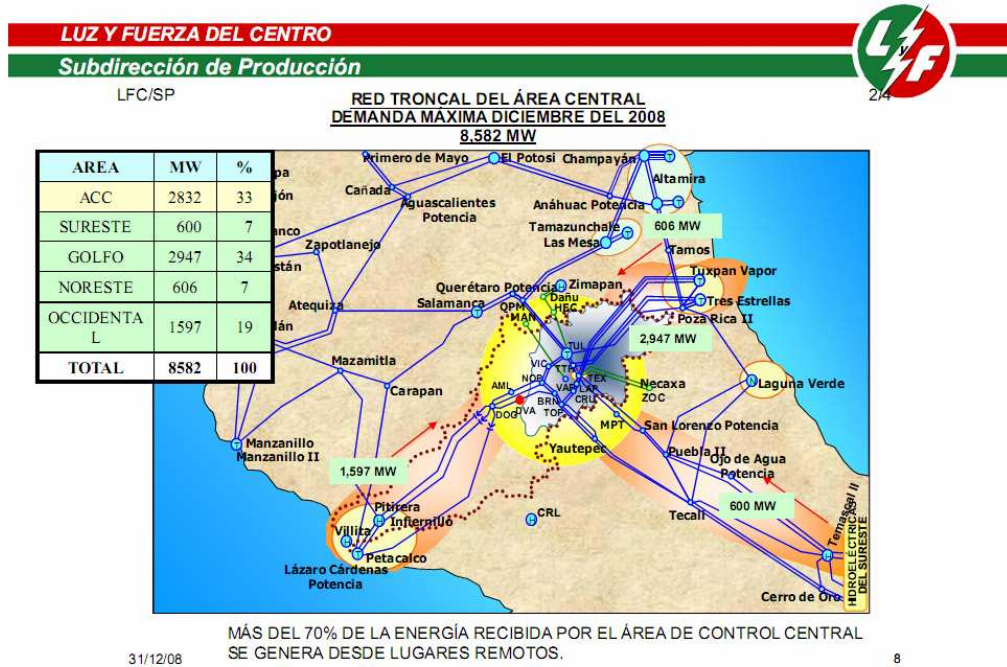


Figura 5.3 Red Troncal del Area Central

Una tercera parte de la energía eléctrica que distribuía Luz y Fuerza se “perdía”, gran parte como resultado de robo y defraudación. El contraste con CFE es notable pues esa empresa sólo “pierde” la décima parte de su electricidad. Nuevamente, es más difícil para Luz y Fuerza garantizar la confiabilidad y la seguridad operativa de una red cuyas subestaciones y transformadores deben atender una demanda de fluido eléctrico no contemplada que, además, se conecta de manera irregular.

Ambos problemas –el de la lejanía de las plantas generadoras y el de las elevadas pérdidas de energía– son sobradamente conocidos. Aunado a esto, la creciente demanda de energía eléctrica en su zona de influencia, que se ha



visto incrementada a una tasa de 2.4% anualmente, llevaron a la extinción de la compañía.

Desde hace varios años Luz y Fuerza comenzó a trabajar para resolver (o atenuar) el problema de la falta de generación cercana, a tratar de encontrar maneras de atender la demanda con plantas generadoras que se ubiquen, por ejemplo, cerca de las zonas de máxima demanda. Luz y Fuerza consiguió recursos presupuestales para su proyecto de “generación distribuida” (Figura 5.4) conforme al cual adquiriría e instalaría varias plantas generadoras en espacios correspondientes a sus subestaciones del estado de México y del Distrito Federal. Sin embargo, desde junio de 2005, cuando Luz y Fuerza llevó a cabo la licitación, mediante un proyecto que incluye "Ingeniería, diseño, fabricación, construcción, suministro, montaje, pruebas y puesta en servicio" [licitación No. 18500001-034-05] de un total de 14 plantas generadoras de 32 MW (c/u) a base de gas natural, el proyecto enfrentó trabas que lo retrasaron. Dada la ineficiente regulación de licitaciones que aplica a los organismos del sector público mexicano, se presentaron varias inconformidades y se retrasó la adjudicación del contrato al proveedor de equipo que había triunfado: General Electric. El asunto tuvo que llegar a ser resuelto por la Secretaría de la Función Pública para que se pudiera proceder a la firma del contrato.

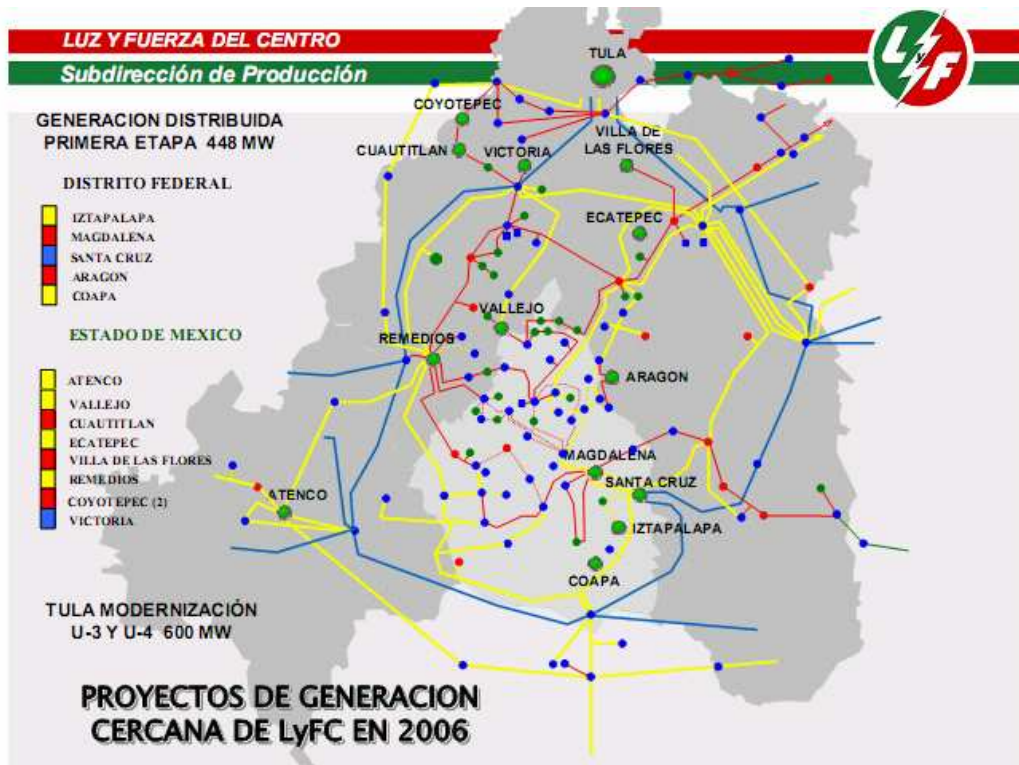


Figura 5.4 Proyectos de Generación Distribuida LyFC, etapa 1

Después de varias trabas, el proyecto se llevó a cabo con las medidas necesarias para asegurar en cantidad y calidad suficientes la energía que suministra a una población de más de 25 millones de usuarios y así, de manera eficiente y oportuna, atender el crecimiento de la zona central del país y darle confiabilidad al Sistema Eléctrico Nacional.





Figura 5.5 Proyectos de Generación Distribuida LyFC, etapa 2.

Los equipos instalados son turbogeneradores con turbina aeroderivada a gas marca General Electric (Figura 5.6) para montaje a intemperie. Funciona con gas natural que debe ser inyectado con una presión de  $3 \text{ kg/cm}^2$ .

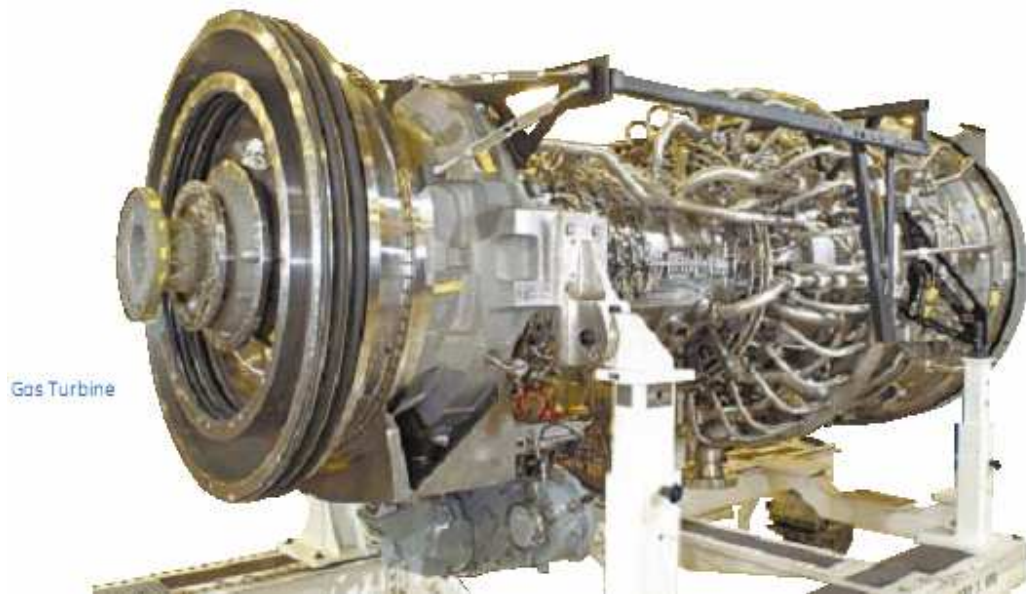


Figura 5.6 Turbina Aeroderivada

Cuentan con una chimenea Marca Braden diseñada para zona sísmica nivel 4, velocidad del viento 40 m/s, con un diámetro de 2743 mm, la altura de la chimenea es de 25 m, diseñada para soportar una velocidad de salida de los gases de 42 m/s a una temperatura de 454.9°C.

Este es un primer acercamiento de tuvo Luz y Fuerza del Centro para mejorar la calidad en el servicio, intentando satisfacer la demanda creciente de energía eléctrica.

Estos equipos, con algunas pequeñas modificaciones, es posible sean alimentados precisamente con los combustibles obtenidos a partir de biomasa, tal como se comentó al principio de este capítulo 5. Estas pequeñas modificaciones solo comprenden el cambio de algunas tuberías de gas con capacidad diferente de presión.



Cabe mencionar que en algunos párrafos atrás se habló sobre la extinción de la compañía “Luz y Fuerza del Centro”, el 10 de octubre de 2009, el Presidente de México decretó la final extinción y liquidación de "Luz y Fuerza del Centro" a partir del primer minuto del día 11, el gobierno mexicano anunció que procedería con la liquidación de los trabajadores a partir del 14 de octubre del mismo año.



## Conclusiones

En este trabajo presentamos la alternativa tecnológica llamada generación distribuida, que aunque mucha gente piensa que se trata de un concepto nuevo, realmente se trata de una tecnología tan vieja, como lo es la industria eléctrica, ya que se trata de producir la energía eléctrica lo mas cerca de los lugares de consumo, tal como se hacía en los inicios de esta industria.

Generar la energía eléctrica cerca de los centros de consumo tiene grandes ventajas, primeramente disminuye las pérdidas eléctricas en la transmisión de la energía, además, hace al SEP un sistema más robusto, menos vulnerable a distintos fenómenos de los que todos los días somos testigos, como pueden ser los apagones, sobre tensiones e incluso la distorsión armónica, la cual está presente en el sistema debido sobre todo a los equipos electrónicos.

La finalidad de la generación distribuida es mejorar la calidad de la energía eléctrica entregada al consumidor, ya sea a través de las redes de distribución o bien, aislada, proporcionando un servicio en forma particular.

Pero, no sólo es necesario generar la energía eléctrica, sino que es imperativo hacerlo con energías limpias, como es el caso de la bioenergía, la cual podemos obtener de la biomasa, que, como ya vimos, la encontramos en los bosques, en los campos y en todos los residuos orgánicos, ya sean industriales o humanos. Debemos crear una conciencia nacional para fomentar la cultura del reciclaje de los productos que, de otra manera, simplemente se van a la basura; con el reciclaje se obtiene un doble beneficio, uno, la reducción del



volumen de basura y el otro, la obtención de productos útiles como la energía eléctrica.

El combustible obtenido de la biomasa, tiene una baja emisión de gases tóxicos, por lo que, el impacto sobre el ambiente es menor que el debido a los combustibles convencionales, de esta manera se cumple con lo estipulado en el Protocolo de Kyoto.

La finalidad de este trabajo, es demostrar que las tecnologías de generación limpia son factibles de utilizar en nuestro país, como ya lo son en otras partes del mundo, tal es el caso de España, en donde desde hace mas de 20 años ya se está aplicando esta tecnología, en Sudamérica tenemos el ejemplo de Brasil, país que convirtió sus tiraderos de basura en digestores en los que se obtiene biogás con el cual no sólo se obtiene energía eléctrica, sino también lo utilizan para su parque vehicular. La tecnología está cerca de nosotros, sin embargo, aún no se le ha brindado la oportunidad de mostrar todas las bondades que trae consigo.



## **BIBLIOGRAFIA**

Calentamiento Global: Informes de un planeta más caliente. National Geographic en Español. Appenzeller, Tim y Dennis R. Dimick. Septiembre 2004. México DF.

Propuesta para ampliar la mitigación de gases de efecto invernadero en el sector eléctrico de México. M. en C. Odón de Buen R. Fis., Judith Navarro, Lic. Sergio Segura C., México D.F. marzo 2009.

JIMÉNEZ Cisneros Blanca, La Contaminación Ambiental en México, Editorial Limusa, México DF, 2001.

Secretaría de Energía Las energías Renovables en México y en el mundo, México DF, 2004.

FIGURELO Juan y Martín Mariano Dávila, Química Física del Medio Ambiente, Editorial Reverté. México DF, 2001.

JIMÉNEZ Cisneros Blanca, La Contaminación Ambiental en México, Editorial Limusa, México DF, 2001.

KIELY Gerard. Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entorno, tecnologías y sistemas de gestiones. Mc Graw Hill, Barcelona, 1999.

Secretaría de Energía Las energías Renovables en México y en el mundo, México DF, 2004.



<http://grouper.ieee.org/groups/scc21/withdrawn.html>

[http://www.papelnet.cl/celulosa/como\\_produce\\_cel.htm](http://www.papelnet.cl/celulosa/como_produce_cel.htm)

[http://grouper.ieee.org/groups/scc21/1547/1547\\_index.html](http://grouper.ieee.org/groups/scc21/1547/1547_index.html)

[http://gepower.com/businesses/ge\\_oilandgas/en/downloads/gas\\_turb\\_cat.pdf](http://gepower.com/businesses/ge_oilandgas/en/downloads/gas_turb_cat.pdf)

[http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE\\_y\\_DT/pub/Electrico\\_2005\\_2014.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pub/Electrico_2005_2014.pdf)

[http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_1917\\_generacion\\_distribui](http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_1917_generacion_distribui)

<http://www.funtener.org/RED/cronica1.html>

[http://www.mundohvacr.com.mx/articulos.php?id\\_sec=4&id\\_art=101&id\\_ejemplar=20](http://www.mundohvacr.com.mx/articulos.php?id_sec=4&id_art=101&id_ejemplar=20)

<http://gregilgar.blogspot.com/2006/09/generacin-distribuida-1.html>

<http://indarki.blogia.com/2005/110901-centrales-generacion-distribuida-y-generacion-super-distribuida.php>

<http://www.unizar.es/aeipro/finder/INGENIERIA%20DE%20PRODUCTOS/BB22.htm>