



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ENERGÍA NUCLEAR COMO UNA SOLUCIÓN SUSTENTABLE
PARA SATISFACER LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

FACULTAD DE INGENIERIA

DIRECTOR: ING. GUILLERMO LÓPEZ MONROY



TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO
P R E S E N T A
RAMÍREZ GALICIA RICARDO JAVIER
MÉXICO, D.F. 2009

DEDICATORIAS

Esta tesis se la dedico a Dios

Por darme la oportunidad de terminar una carrera profesional

Ser mi apoyo, mi fuerza de voluntad y mi guía en momentos difíciles

A mis padres

Gloria Galicia Allende

Javier Ramírez Dawzón

A quienes agradezco todo el apoyo a lo largo de mi carrera y de mi vida

Son mi presente y mi futuro, estoy sumamente agradecido por sus consejos, por su amor incondicional, por su apoyo en todo momento, por creer en mí y por darme la maravillosa oportunidad de vivir, y ser un profesionalista.

A mis hermanas

Luz Estefany Ramírez Galicia

Alma Mireya Ramírez Galicia

Por apoyarme y darme ánimos en tiempos difíciles, gracias por su cariño y comprensión

Por todo el tiempo que compartimos juntos, siempre las llevo en mi corazón y son parte de mis pensamientos en cada instante de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

*A la Universidad Nacional Autónoma de México
A la Facultad de Ingeniería*

A la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, especialmente al Ing. Pablo Ruiz López y al M.I. Víctor Manuel González Mercado, a quienes agradezco su ayuda en todo momento, estoy sumamente agradecido por sus consejos y sugerencias en la realización de esta tesis

Al Ing. Guillermo López Monroy por su valiosa asesoría y tiempo dedicado en la revisión de esta tesis

A mis amigos de la facultad



INDICE DESGLOSADO

Introducción

<i>Situación de la nucleoelectricidad a nivel mundial</i>	<u>1</u>
<i>Concepto de energía y su importancia en el desarrollo de la humanidad</i>	<u>3</u>
<i>Conversión de fuentes de energía</i>	<u>5</u>
<i>Constitución del átomo</i>	<u>6</u>
<i>La radiactividad</i>	<u>6</u>
<i>Modelo mecánico cuántico</i>	<u>10</u>

Capítulo 1

1	<i>Energía nuclear (Introducción)</i>	<u>13</u>
1.1	<i>Definición de energía nuclear</i>	<u>13</u>
1.2	<i>Central nucleoelectrónica</i>	<u>14</u>
1.3	<i>Central nucleoelectrónica Laguna Verde</i>	<u>15</u>
1.4	<i>El reactor nuclear de Laguna Verde</i>	<u>15</u>
1.5	<i>Núcleo del reactor de Laguna Verde</i>	<u>16</u>
1.6	<i>Elementos que componen la central Laguna Verde</i>	<u>17</u>
1.7	<i>Etapas de generación de energía en una central Nucleoelectrónica</i>	<u>17</u>
1.8	<i>Componentes esenciales de un reactor nuclear</i>	<u>18</u>
1.9	<i>Combustible nuclear</i>	<u>18</u>
1.10	<i>Material de control</i>	<u>19</u>
1.11	<i>Moderador</i>	<u>20</u>
1.12	<i>Fluido refrigerante</i>	<u>20</u>
1.13	<i>Tipos de reactores</i>	<u>21</u>
1.14	<i>Reactor de investigación en México (ININ)</i>	<u>22</u>
1.15	<i>Otros tipos de reactores nucleares</i>	<u>22</u>
1.16	<i>Reactor tipo (PWR) reactores de agua ligera a presión PRESSURIZED WATER REACTOR</i>	<u>23</u>
1.17	<i>Reactor tipo (BWR) reactores de agua ligera en ebullición BOILING WATER REACTOR</i>	<u>23</u>
1.18	<i>Reactor tipo CANDU (PHWR) reactores de agua pesada a presión PRESSURIZED HEAVY WATER REACTOR</i>	<u>24</u>
1.19	<i>Reactores enfriados por bióxido de carbono y moderados por grafito (GCR) GAS COOLED REACTOR</i>	<u>24</u>
1.20	<i>Reactores rápidos de cría enfriados por sodio LIQUID METAL FAST BREEDER REACTOR (LMFBR)</i>	<u>25</u>
1.21	<i>Reactores de propulsión</i>	<u>25</u>
1.22	<i>Reactores de tercera generación o avanzados</i>	<u>25</u>
1.23	<i>Diseño y seguridad</i>	<u>28</u>
1.24	<i>Sistemas de enfriamiento de emergencia del núcleo del reactor de la central nuclear Laguna Verde</i>	<u>29</u>
1.25	<i>Residuos radiactivos</i>	<u>30</u>



Capítulo 2.

2	Generación de energía eléctrica mediante energía no renovable	33
2.1	Plantas de generación de energía eléctrica mediante energía no renovable	33
2.2	Generación de energía eléctrica utilizando energía térmica (Termoeléctricas)	34
2.3	Plantas de generación de energía eléctrica utilizando como combustible (carbón) (carboeléctricas)	39
2.4	Plantas de generación de energía eléctrica utilizando como combustible (diesel) (plantas diesel). (combustión interna)	40
2.5	Plantas de generación de energía utilizando como combustible (gas natural) (turbogás)	41
2.6	Plantas de generación de energía eléctrica mediante ciclo combinado utilizando dos tipos de unidades generadoras (turbogás y vapor)	42
2.7	Plantas de generación de energía eléctrica utilizando dos tipos de fuentes generadoras (combustóleo y carbón).(plantas duales)	45
2.8	Plantas de generación de energía eléctrica utilizando como combustible, material nuclear, (nucleoeléctricas)	45

Capítulo 3.

3	Generación de energía eléctrica mediante energía renovable	49
3.1	Plantas de generación de energía eléctrica mediante afluentes de agua (hidroeléctricas)	52
3.2	Plantas de generación de energía eléctrica utilizando como fuente de generación la energía del subsuelo (geotérmicas)	56
3.3	Plantas de generación de energía eléctrica, utilizando como fuente de generación la energía del viento (plantas eólicas)	62
3.4	Plantas de generación de energía eléctrica, utilizando como fuente de generación la energía del Sol (plantas solares)	68
3.5	Generación de energía eléctrica utilizando como fuente de generación la energía del mar	73
3.6	Generación de energía eléctrica utilizando la energía del hidrogeno	74
3.7	Generación de energía eléctrica utilizando la energía de la biomasa	79
3.8	Sistemas híbridos eólico – solar	83

Capítulo 4.

4	Panorama de la energía nuclear en México y en el mundo	85
4.1	Panorama de la energía nuclear como fuente de generación de energía eléctrica a nivel mundial	85
4.2	Comparación entre los principales tipos de fuentes de generación de electricidad y expectativas	91
4.3	Panorama de la generación de energía eléctrica en México	96
4.4	Expectativas del sistema eléctrico nacional	105



Índice



4.5	<i>Tipos de centrales generadoras y fuentes de energía utilizadas en la expansión del sector eléctrico nacional</i>	108
4.6	<i>Demanda de energía eléctrica en México y principales características de los sistemas eléctricos de potencia</i>	112
4.7	<i>Determinación de la carga eléctrica y distribución de la población en la republica mexicana</i>	114
4.8	<i>Costo de construcción de una central nucleoelectrica</i>	126
4.9	<i>Principales estados con cercanía del agua de mar</i>	128
4.10	<i>Grado de sismicidad en la republica mexicana</i>	132
4.11	<i>Factores climatológicos</i>	134
4.12	<i>Otros recursos naturales disponibles para la generación de energía eléctrica</i>	134
4.13	<i>Cercanía con otras plantas de generación de energía eléctrica</i>	137
4.14	<i>Abundancia de los combustibles nucleares</i>	138
4.15	<i>Estado de la republica mexicana más viable para la construcción de una central nucleoelectrica</i>	139
4.16	<i>La energía nuclear como una alternativa real ante el calentamiento global y los gases de invernadero</i>	140
4.17	<i>Aspectos ambientales</i>	144

Capitulo 5.

5.1	<i>Conclusiones y recomendaciones</i>	147
5.2	<i>Bibliografía</i>	158



Introducción

Situación de la nucleoelectricidad a nivel mundial

A partir de 1954 se incrementó la contribución de la energía nuclear a nivel mundial cumpliendo con la demanda de energía eléctrica, ésta nueva forma de generación de energía comprobó desde entonces generar gran cantidad de energía a bajo costo, en comparación con el poco material combustible que requiere para su funcionamiento.

Se debe en gran medida al elevado contenido de energía contenido en el uranio enriquecido que es el material más ampliamente utilizado. El poder energético contenido en una pastilla de combustible cuyo peso promedio es de 10 gramos es equivalente a 3.9 barriles de combustóleo. Desde entonces las centrales nucleoelectricas son más viables debido a que generan mucho más de lo que consumen.

La capacidad de generación a nivel mundial en la actualidad suma un total de 372,220 MW. Hasta el mes de Mayo del 2009 existen en operación 436 reactores en más de 30 países como: Argentina, Brasil, Bulgaria, Hungría, India, Corea, Pakistán, España, China, EU y México entre otros y en 14 países están en construcción nuevos reactores.

La energía nuclear siendo una fuente de generación relativamente nueva ha alcanzado los niveles de generación de las plantas hidroeléctricas, siendo causa de esto, los beneficios que presenta el uso de la energía nuclear, entre los cuales se encuentra, la reducida contaminación debido a que no se consume ningún tipo de hidrocarburo, esto a su vez reduce el calentamiento global o efecto invernadero provocado por la combustión de combustibles fósiles (carbón, gas natural y otros derivados del petróleo) tan dañinos para el medio ambiente.

En la actualidad el país que tiene el programa nucleoelectrico más completo en el mundo es Francia, generando actualmente 76.2% de su energía eléctrica, más de tres cuartas partes de su electricidad es generada por medio de energía nuclear.

En México se comienza la implementación de la energía nuclear con la construcción de lo que sería hasta la fecha la única central Nucleoelectrica en México, Laguna Verde, que cuenta con dos unidades o reactores de los cuales, la primer unidad, inició su operación de forma comercial en el año 1990 y la segunda unidad, entró en operación comercial en el año 1995.

Algunas centrales nucleoelectricas tienen la ventaja de que pueden recargarse sin dejar de operar. En el caso de Laguna Verde, si se detiene la operación del reactor para mantenimiento y recarga de combustible¹.

¹ Los Reactores de Laguna Verde, paran para las recargas periódicas cada 1.5 años



Introducción



Se realizaron aumentos de potencia a los reactores de Laguna Verde en el 2005, y con esto fue posible retirar de servicio una de las unidades de la Central Valle de México, reduciendo considerablemente la emisión de contaminantes que tanto afecta la capital de México.

La siguiente figura 1 nos muestra en qué porcentaje se produce energía eléctrica en México, además se puede observar el tipo de planta generadora y su respectivo porcentaje efectivo de capacidad de generación instalado.

**Capacidad y porcentaje de generación de energía eléctrica en México
clasificación por tipo de planta generadora**

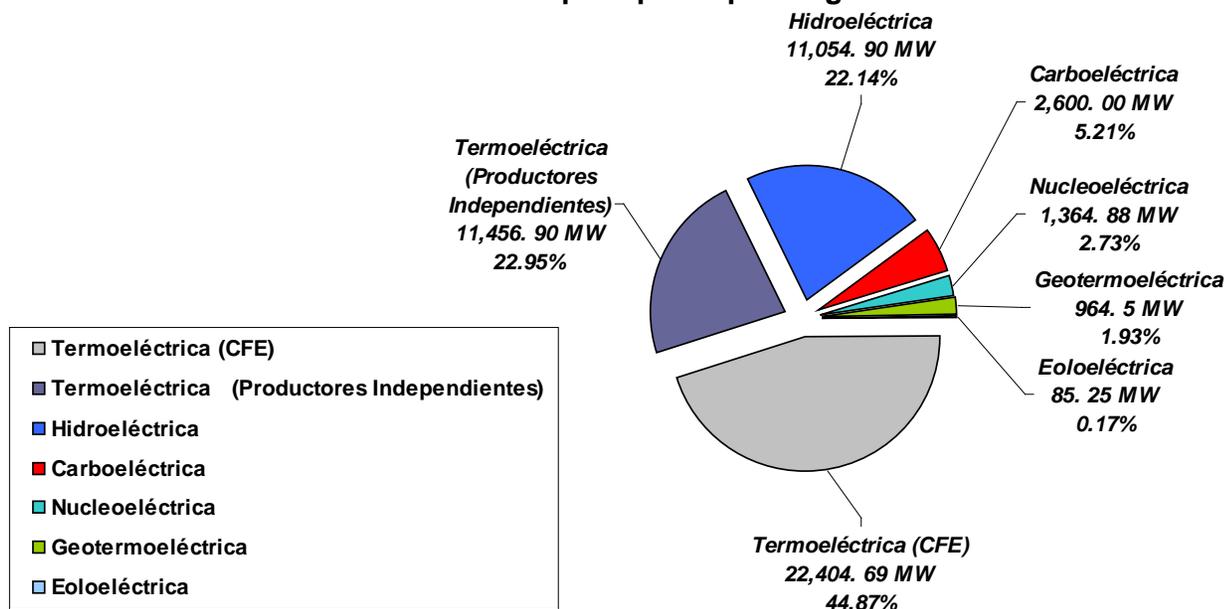


Fig.1 Porcentaje y capacidad de generación de energía eléctrica en México

Podemos apreciar claramente en la figura 1 cómo la planta nucleoeléctrica Laguna Verde tiene un porcentaje de capacidad de generación de 2.73% del total instalado en el país; es un porcentaje elevado considerando que supera a la suma de capacidad de generación de plantas eólicas y geotermoeléctricas instaladas en el país. La central nucleoeléctrica Laguna Verde tiene una potencia total de 1,364.88 MW eléctricos.

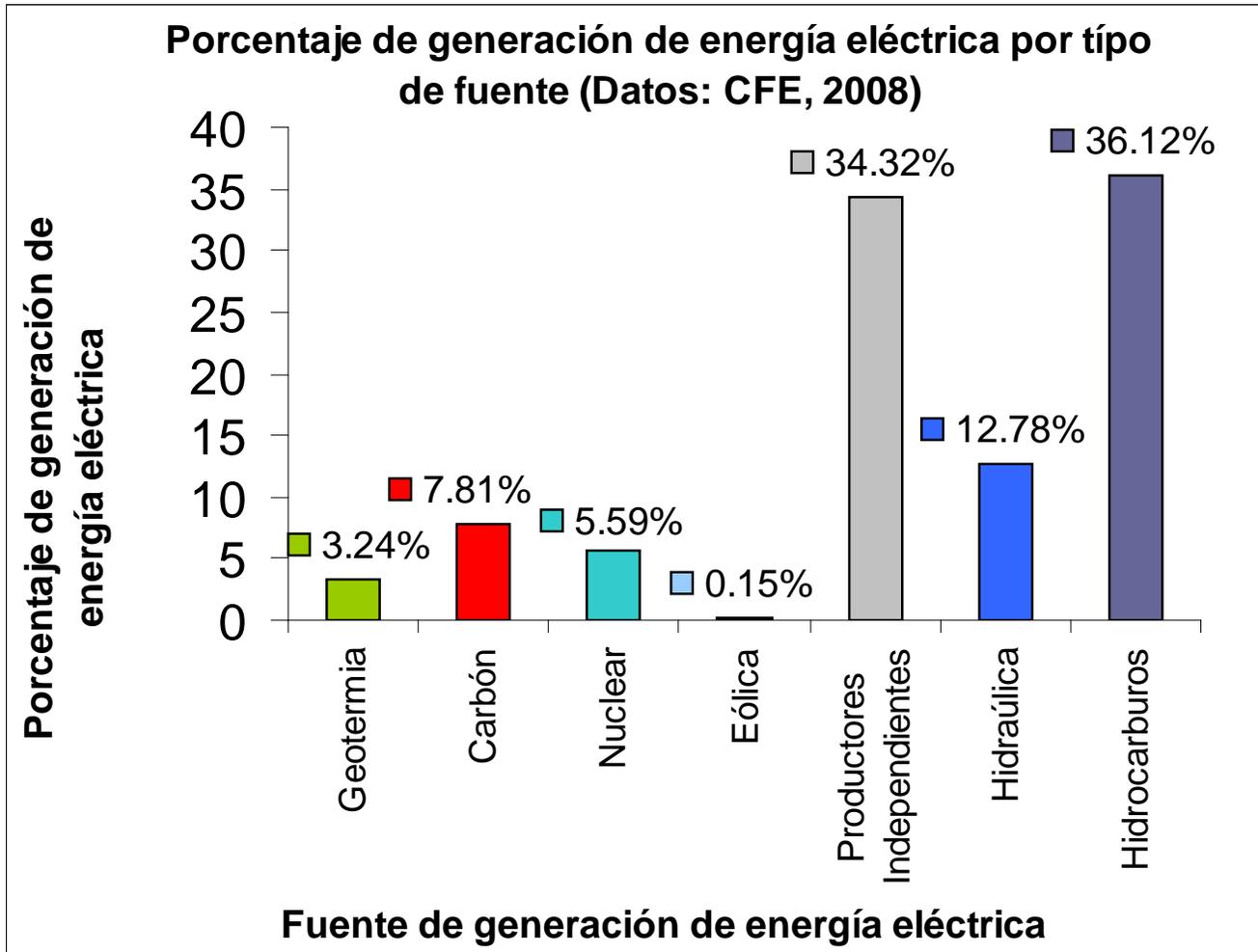


Fig. 2 Porcentaje de generación de energía eléctrica por tipo de fuente.

En la figura 2 podemos observar cuál es el porcentaje de generación de energía eléctrica por el tipo de combustible o fuente de generación, se puede destacar que los hidrocarburos son actualmente la principal fuente de generación de energía eléctrica en México.

Concepto de energía y su importancia en el desarrollo de la humanidad.

Sabemos de la definición de energía que es la propiedad que los elementos tienen de llevar a cabo un determinado trabajo, cada nuevo conocimiento que realizó el hombre a través del tiempo sobre la energía, lo ha llevado a desarrollar la forma de poder aprovecharla, de esta forma se tienen avances cada vez mayores en el campo de la energía aumentando cada vez más sus beneficios.



Introducción

Existen en la naturaleza diversos tipos de elementos o materiales renovables y no renovables que son capaces de proporcionar la energía que el hombre requiere.

Por lo que la adecuada utilización de estos recursos brindan la energía requerida para el desarrollo sustentable, que se basa en una adecuada explotación de energéticos.

Como ejemplo de la utilización que ha realizado el hombre de las fuerzas naturales tenemos principalmente la energía cinética o energía de movimiento, que proporcionan las corrientes de agua, esta energía es aprovechada mediante un mecanismo conocido como rueda hidráulica que no es más que una hélice a través de la cual pasa el agua y le proporciona un movimiento giratorio que se transmite a un eje, para poder ser aprovechado.

Se descubrió a través del tiempo que el vapor resultado de la ebullición del agua, contenido en recipientes cerrados genera una fuerza que puede ser aprovechada, esta fuerza o presión generada por la expansión de las moléculas de agua puede ser aprovechada para generar movimiento, esta idea fue utilizada para la creación de la máquina de vapor lo que posteriormente dio origen a la era industrial.

Otro recurso natural que puede aprovecharse, es sin duda la energía que proporciona el Sol, la luz y el calor o incremento de temperatura que proporciona el sol a los cuerpos es completamente utilizable mediante lo que se conoce como celdas fotovoltaicas, estas celdas como su nombre lo indica, captan la energía transmitida por el sol y la convierten en energía eléctrica.

Existen además muchas otras formas de obtener energía, como son la quema de Hidrocarburos y carbón entre otros materiales y substancias que se combustionan y generan calor que puede ser aprovechado.

En la actualidad el petróleo y el gas natural son las fuentes de energía más utilizadas por el hombre que al ser explotadas en forma continua y desmedida desaparecerán con el tiempo. Se calcula que de seguir consumiendo estos recursos no renovables, se acabarán dentro de muy poco tiempo si consideramos que en cien años de industria hemos consumido más de la mitad de estos recursos todo esto se basa en estudios de incremento de población y de consumo.

Es debido a esto que en un futuro muy cercano el hombre necesitará una forma de obtener energía de algún recurso natural que además se renueve, conllevando a un desarrollo sostenido para la humanidad.

Este elemento energético debe existir en la naturaleza en forma tan abundante que pueda utilizarse sin causar ningún daño a los ecosistemas y al mundo. La respuesta a una fuente muy abundante se encuentra en la energía nuclear.

Como sabemos existen básicamente dos formas de generar energía nuclear. La fisión nuclear ó desintegración de átomos muy pesados a partir de elementos con elevada masa atómica, como el uranio, la fisión nuclear ó separación de átomos de uranio es utilizada actualmente en las plantas nucleares, que es una buena opción para generar energía. Y la fusión nuclear, que es la energía del futuro, la unión de átomos muy ligeros, el átomo del elemento más ligero que existe en la humanidad es el hidrógeno, si dos átomos de hidrógeno se unen generan una energía potentísima, que de ser controlada podría cubrir fácilmente las necesidades de energía de toda la humanidad.



Conversión de fuentes de energía

Se puede generar electricidad partiendo de la energía cinética o movimiento que al ser aplicado a un eje gira transmitiendo este movimiento rotatorio a un generador, o máquina ideada para convertir el movimiento en electricidad, se basa su diseño en un eje receptor del movimiento alrededor del cual está dispuesto un embobinado o alambre enrollado, de forma tal que cuando esta bobina gira induce un campo magnético produciendo finalmente electricidad.

De acuerdo con esto para generar energía se necesita disponer de un generador y además de la suficiente energía mecánica para conseguir moverlo, a partir de esto podemos concluir que la energía eléctrica surge principalmente de la transformación de la energía mecánica.

En este principio nos basamos para decir que el hombre ha podido obtener la electricidad que requiere a partir de diferentes medios de generación, esto nos indica que sólo depende del factor que mueva al conjunto generador para otorgar el nombre al tipo de producción de electricidad, este tipo de instalaciones encargadas de convertir diferentes tipos de energías naturales en electricidad son conocidas como plantas generadoras.

Una central o planta de generación de energía eléctrica es una instalación capaz de convertir la energía mecánica, obtenida mediante otras fuentes de energía natural, en energía eléctrica.

Generalmente la energía mecánica más utilizada, procede de la quema de combustibles fósiles (gas, petróleo, carbón), así como derivados del petróleo como son (combustóleo, diesel, gasolina etc.) la energía térmica que produce la quema de combustibles se utiliza para producir vapor que impulsa algún tipo de turbina produciendo el movimiento mecánico; el movimiento mecánico también puede ser obtenido de la transformación de la energía potencial del agua almacenada en un embalse o reten; procede también de la energía del viento que puede ser captada mediante hélices diseñadas especialmente para lograr el mayor aprovechamiento de las corrientes de aire, esta energía mecánica puede proceder de igual forma de la energía que desprenden las fuentes naturales de vapor como son los géiser.

Otra de las formas de obtener energía en forma natural se logra aprovechando la energía de las olas al chocar con retenes especialmente diseñados para captar este movimiento, además de estas fuentes naturales, comúnmente utilizadas, existen fuentes de generación de energía alternativas, debido a que por el momento generan poca energía en comparación de las fuentes más utilizadas, una de estas fuentes de energía es la energía solar, absorbida mediante paneles solares que se encargan de convertir la luz del sol en energía eléctrica. Otras fuentes naturales de energía son, la energía que se puede obtener del hidrógeno y la energía que puede obtenerse de la biomasa.



Constitución del átomo

El átomo básicamente se constituye, por la existencia de pequeñísimas partículas con carga negativa (electrones), que giran en orbitas diversas (niveles de energía) en torno al núcleo central con carga positiva formando una especie de nube. El núcleo contiene dos tipos de partículas, protones con carga positiva, y neutrones con carga eléctrica neutra, La estructura del átomo en su conjunto y sin la presencia de factores externos es eléctricamente neutra.

En lo que refiere al tamaño del núcleo del átomo dependiendo de los diversos elementos está calculado entre una diezmilésima o una cienmilésima parte del átomo, un enorme vacío separa los electrones del núcleo. Protones y neutrones tienen el mismo tamaño. Y se encuentran fuertemente unidos entre sí, formando el núcleo. El tamaño del electrón es 1840 veces menor al protón o al neutrón.

El número de protones es igual al número de electrones presentes en cada átomo. Esta cantidad recibe el nombre de número atómico, y se reconoce con la letra Z.

A la cantidad total de protones más neutrones presentes en un núcleo del átomo, se le llama número másico y nos da una idea de la masa total del átomo, se identifica con la letra "A".

Si designamos como Q a un elemento químico cualquiera, su número atómico y másico se representa con lo siguiente: ${}_Z^A Q$, para el hidrogeno tenemos ${}_1^1 H$.

Existen en la naturaleza 272 átomos estables con distintos números de masa que originan los 103 elementos completamente identificados que conocemos.

Cada elemento está formado por átomos del mismo número atómico es decir misma cantidad de protones, pero que pueden tener diferente número de masa.

Estos átomos con distinto número de masa, de un mismo elemento reciben el nombre de isótopos.

De esta forma, el elemento químico Uranio, con número atómico 92, por ejemplo, tiene fundamentalmente dos isótopos, cuyos números de masa son 235 y 238.

Siendo que el uranio en su estado natural contiene 0.7% de isótopos de uranio 235 fisionable, el resto del mineral son isótopos de uranio 238

Esto es muy importante debido a que solamente los isótopos de Uranio 235 se pueden utilizar para obtener energía.

La Radiactividad

Se descubrió que existen elementos que desprenden en forma natural energía en forma de calor y ondas electromagnéticas, obra del francés Henri Becquerel en 1896, al investigar cuerpos fluorescentes (entre ellos el Sulfato de Uranio y el Potasio), encontró una nueva propiedad de la materia a la que posteriormente Marie Curie llamó (radiactividad).

Madame Curie comenzó a estudiar la radiactividad natural en diversos compuestos, con el interés de investigar la existencia de otro posible material radiactivo y lo encontró: el torio. Con la idea de que existía otro elemento más radiactivo que el uranio, Marie y Pierre Curie buscaron radiaciones en minerales de uranio mezclados con otros metales y minerales.



Introducción



Separando cada elemento mediante procesos químicos; en cada proceso de eliminación, su muestra se volvía más pequeña, pero la intensidad de la radiación era mayor, quedando un producto cuyas radiaciones eran cientos de veces más intensas que las que emitía el uranio. A mediados de 1898, los Curie descubrieron un nuevo elemento radiactivo al que llamaron polonio.

Una vez separado el polonio de los residuos minerales, éstos seguían emitiendo radiaciones. Los esposos Curie concluyeron que existía algo distinto al polonio y al uranio, con la misma propiedad de emitir radiaciones. También en 1898, encontraron el elemento desconocido y lo denominaron radio. A la propiedad que posee el radio y otros elementos inestables de emitir energía espontáneamente al desintegrarse, Marie Curie le dio el nombre de RADIATIVIDAD (Bulbulián: 1987:15-19)²

Podemos definir la radiación nuclear (radiactividad), como la propiedad de los núcleos atómicos de algunos isótopos de emitir radiaciones y modificar su estructura.

Los experimentos sobre la radiactividad de ciertos elementos como el uranio, el polonio y el radio, llevados a cabo a fines del siglo pasado por Henri Becquerel, Pierre y Marie Curie, condujeron en 1902 al descubrimiento del fenómeno de la transmutación de un átomo en otro diferente, a partir de una desintegración espontánea que ocurría con gran desprendimiento de energía.

La radiación nuclear es la emisión espontánea de energía (ondas electromagnéticas o partículas) de núcleos pesados inestables de un átomo, para convertirse en estables, modificando la estructura molecular de la materia o sustancia donde inciden.

La magnitud en la que se expresa es la (Actividad) y su unidad de medida es el becquerel, unidad de actividad (Sistema Internacional), equivalente a una desintegración nuclear por segundo. Su símbolo es Bq.

Si estas emisiones las manifiestan los núcleos de los átomos presentes en la naturaleza, de un modo espontáneo, se denomina radiactividad natural ionizante, entre estas sustancias emisoras de radiaciones se pueden mencionar el uranio, el torio y el radio, que se encuentran en rocas tan comunes como el granito, en pequeñas cantidades.

El radio produce el gas radiactivo radón que está presente en el aire que respiramos. Este tipo de radiación ioniza con la energía desprendida la materia que se encuentra cerca, al actuar sobre los tejidos vivos origina la alteración de las sustancias que componen las células.

La luz de las estrellas el calor del sol, el aire que respiramos, el agua que bebemos y los alimentos que ingerimos, son fuentes de radiación natural no ionizante, que no alteran la naturaleza de la materia donde inciden a no ser que la materia sea expuesta a este tipo de radiaciones en exceso. Las radiaciones naturales ionizantes provienen también de nuestro propio cuerpo, principalmente del potasio y del carbono.

² BULBULIÁN, Silvia.- La radiactividad. Colección La ciencia desde México No.42. SEP, FCE, CONACYT. México, 1987.



Introducción



La magnitud de radiación natural ionizante que recibimos por año es de aproximadamente 100 milirems³ aunque puede variar considerablemente por razones de altitud o de composición del suelo.

La exposición del cuerpo humano a las radiaciones varía enormemente, de acuerdo con el tiempo durante el cual se haya recibido y de acuerdo con la intensidad de la radiación.

Si la exposición del cuerpo humano es el resultado de la acumulación ocurrida durante largo tiempo, los efectos son totalmente distintos. Un científico o técnico que maneje material radiactivo puede recibir 125 mrems a lo largo de 25 años sin sufrir ninguna consecuencia somática o genética.

El bajísimo nivel de contaminación radiactiva que producen las centrales nucleares, se debe al riguroso control de estrictas normas de seguridad, observadas en la construcción y en la operación, que se tiene de todas las sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, lo que garantiza que ningún efluente pueda ser arrojado al mar, a la tierra o a la atmósfera, si no se comprueba previamente que su nivel de radiactividad originará dosis menores a 5 milirems por año en las personas que habitan en torno a las instalaciones, apenas 3% de lo que recibe comúnmente cualquier ser humano en forma natural, en el mismo tiempo.

El cumplimiento de estas normas está a cargo de los organismos reguladores especializados en cada país. Cualquier violación de estas normas origina la suspensión temporal o definitiva de la actividad de la central.

Hoy en día se conocen más de 40 elementos radiactivos en estado natural, que corresponden a los elementos con mayor peso atómico. Todos los núcleos atómicos mayores al número atómico 83, son radiactivos.

La radiactividad de un elemento no depende de la naturaleza física o química de sus átomos que lo componen, sino que es una propiedad radicada en el interior mismo del átomo.

Los tipos de radiación natural o partículas emitidas más importantes son: partículas (alfa, beta, gama) y neutrones.

- ✓ Partículas Alfa: Cuando un núcleo atómico es inestable a causa del gran número de protones que posee (ocurre en los elementos más pesados, es decir con un número atómico de $Z=83$ o superior), la estabilidad es alcanzada, con frecuencia emitiendo una partícula alfa, es decir, un núcleo de átomo de Helio, formado por dos protones y dos neutrones. Tienen una gran cantidad de energía debido a la masa de las partículas, pero una penetración pequeña en la materia donde incide.

³ El rem es una unidad de medida de la absorción de energía en los tejidos, debida a la radiación ionizante, se acostumbra utilizar el milirem. Las unidades modernas de dosis absorbidas son el sievert y el milisievert equivalente a 100 (rems) y 100 (milirems) respectivamente.



Introducción

- ✓ Partículas Beta: Cuando la relación de neutrones/protones en un núcleo atómico es elevada, el núcleo se estabiliza emitiendo un neutrón, o bien como ocurre con frecuencia, emitiendo una partícula beta, es decir, un electrón. Se distinguen dos tipos de radiaciones beta, la beta+ y la beta- . La emisión de partículas Beta negativa- se produce si la relación neutrón/protón es elevada y se sabe que son electrones que provienen del núcleo al transformarse un neutrón en un protón este desbalance de cargas en el núcleo provoca la expulsión de un electrón para estabilizar nuevamente las cargas dentro del átomo. La emisión de partículas Beta positivas+ ocurre cuando la relación de neutrones/protones es muy pequeña, debe ocurrir una disminución en el número de protones o aumentar el número de neutrones para lograr la estabilidad del núcleo. Esto ocurre con la emisión de un electrón positivo o positrón, o bien absorbiendo el núcleo un electrón orbital.
- ✓ Partículas Gama: Los rayos gama son ondas electromagnéticas semejantes a las de la luz pero de mayor energía, muy parecidos a los rayos x pero con menor longitud de onda, en ciertas ocasiones se presentan cuando ocurre una desintegración de partículas beta, o bien una emisión de positrones, de tal modo que el núcleo pierde energía con la emisión de un fotón (partícula luminosa sin carga). Por lo tanto, la radiación gamma no posee carga eléctrica y su naturaleza ondulatoria permite describir su energía en relación a su frecuencia de emisión.
- ✓ Neutrones: son partículas neutras que forman parte de los núcleos atómicos, emitidas con diversas energías.
- ✓ Rayos X: son ondas electromagnéticas semejantes a la luz, pero originados fuera del núcleo del átomo.

A diferencia de la radiación natural, la radiación artificial es debida a transformaciones provocadas por el hombre sobre la estructura natural de los átomos, cambiando sus propiedades naturales.

Al bombardear diversos núcleos atómicos con partículas alfa de gran energía, se pueden transformar en un núcleo diferente, por lo tanto, se transforma en un elemento que no existe en la naturaleza. Los esposos Irene Curie y Frederic Joliot, experimentando con tales procesos descubren la radiactividad artificial, pues se percatan que al bombardear ciertos núcleos con partículas procedentes de fuentes radiactivas estos se vuelven radiactivos. Si la energía de las partículas es adecuada, puede penetrar en el núcleo generando su inestabilidad y por lo tanto, induciendo su desintegración radiactiva.

Cuando se bombardean ciertos núcleos con partículas procedentes de fuentes radiactivas estos se vuelven radiactivos. Desde el descubrimiento de los primeros elementos radiactivos artificiales, el hombre ha logrado en el tiempo obtener una gran cantidad de ellos. Es la clave en este proceso la aparición de los llamados aceleradores de partículas y de los reactores nucleares. Estos últimos son fuente importante de neutrones que son utilizados para producir gran variedad de radioisótopos.



Otro tipo de Radiaciones Artificiales ionizantes de menor magnitud son las producidas por artefactos creados por el hombre como son, aparatos de televisión, relojes con carátula luminosa, aparatos de radiografía utilizados en medicina, centrales nucleares, etc.

De todas las radiaciones artificiales, los aparatos utilizados para las radiografías son las fuentes que emiten mayor cantidad de ellas.

Las radiaciones artificiales ionizantes de menor magnitud que recibimos a lo largo del año, incluidas las que provienen de centrales nucleares, pueden sumar poco más de 50 (mrems).

Modelo Mecánico Quántico

El estudio del modelo mecánico cuántico es iniciado por el físico francés Luí De Broglie, reconocido en 1929 con el Premio Nobel de Física, donde nos dice que toda partícula que posee movimiento tiene el comportamiento de una onda, de forma que un electrón se comporta también como una onda, debido a que es imposible conocer en forma precisa su posición y velocidad exacta, sólo es posible determinar una cierta región o zona ocupada por un electrón en el átomo, estas regiones donde pasan los electrones a velocidades exorbitantes se conocen como niveles de energía, esta idea se tomó del postulado conocido como principio de Heisenberg.

El gran salto entre la comprensión de la estructura del átomo y la teoría necesaria para el desarrollo de energía nuclear lo dio el físico Alemán Alberto Einstein en 1905. Los estudios de Einstein explicaron que el desprendimiento de energía en materiales radioactivos, era el resultado de la transformación de pequeñísimas cantidades de masa de acuerdo con la ecuación $E=mc^2$ donde E: es la energía liberada, m: la diferencia de masa o incremento y C es la velocidad de la luz. Esta ecuación significa que la masa se puede transformar en energía ó la energía puede ser transformada en masa.

Según esta fórmula, cuando en un proceso se pierde masa, ésta no desaparece sino que es transformada en energía, la fórmula desarrollada por Einstein nos explica que la masa se relaciona con la velocidad generando como resultado energía, el electrón partícula diminuta que forma parte del átomo es capaz de generar una cantidad potentísima de energía debido a la velocidad con la que se mueve, esta fórmula describe que la masa es relativa, por lo que la energía antes de esta teoría había sido relacionada directamente con el tamaño de la masa, pero ahora sabemos que una energía muy grande puede ser producida por una masa muy pequeña.

Estos hechos condujeron a la conclusión de que si se lograba desintegrar a voluntad los átomos de algunos elementos, seguramente se podrían obtener cantidades enormes de energía. Se comenzó con experimentos en laboratorio sobre la teoría de Einstein que básicamente describe, que toda materia o sustancia es energía.

Los experimentos realizados en 1939 por Otto Hahn, Fritz Strassman y Lise Meitner llevaron a descubrir con qué facilidad se podía partir el núcleo de un átomo de uranio mediante un neutrón, el cual producía además otros dos o tres neutrones que podían dividir a su vez otros núcleos, acelerando la propia radiactividad natural del uranio.



Introducción



Los experimentos consistían en disparar neutrones a núcleos de isótopos de uranio 235. Separando al núcleo en dos partes que en conjunto sumaban una masa menor a la del núcleo original, esto es debido en gran medida a que una parte de la masa del átomo en las partículas que forman el núcleo al separarse es convertida directamente en energía. En esta reacción cada núcleo se parte en dos núcleos de masas inferiores, emite radiaciones, libera energía que se manifiesta en forma térmica y emite dos o tres nuevos neutrones, que a su vez desintegran otros núcleos de isótopos de uranio 235 generándose lo que se conoce como reacción en cadena, este proceso era incontrolado puesto que no se conocía la forma de detener la reacción una vez que comenzaba.

La primera aplicación de la energía nuclear como un proceso incontrolado, fue la bomba atómica, en la cual se liberó una energía de 12 kilotones (energía equivalente a 12 mil toneladas de explosivo), destruyendo las ciudades de Hiroshima y Nagasaki, siendo la más grande liberación de energía incontrolada, se generó una reacción en cadena de separación de los núcleos de isótopos de plutonio los átomos más pesados que hasta ese momento se conocían, material parecido al uranio enriquecido, pero con más alta concentración de núcleos atómicos fisionables, de modo que este material tiene mayor concentración de isótopos radiactivos convirtiéndolo de cierto modo en un material con más energía.

A finales de 1950 comenzaría una utilización práctica de esta energía para producir electricidad, con las primeras centrales nucleares de fisión. Superadas las limitaciones para generar energía nuclear aprovechable, en 1942 comenzó a funcionar en la Universidad de Chicago el primer prototipo de reactor nuclear experimental, construido por el físico italiano Enrico Fermi.

En el primer reactor experimental se mantuvo y controló una reacción nuclear, utilizando los neutrones producidos en la fisión de núcleos del uranio 235, para fisionar otros núcleos del mismo tipo, logrando la primera reacción en cadena auto sostenida y controlada del mundo el 2 de diciembre de 1942, el control de la "reacción en cadena" se obtuvo mediante la absorción o captura de los neutrones libres por elementos como el boro y el cadmio.

Construido en la anterior Unión Soviética en junio de 1954 en Obninsk provincia de Kaluga entró en operación el primer reactor nucleoelectrónico de potencia nombrado APS-1, diseñado con una capacidad de 5 MW, que utilizaba uranio enriquecido al 5% como combustible, grafito como moderador y agua como refrigerante, siendo base para la creación del reactor RBMK, construido en Chernobyl.

En Estados Unidos sería construido el primer reactor tipo experimental BWR en Vallecitos, que fue base de diseño para el reactor comercial BWR-1 construido en 1960 nombrado Dresden 1 con una capacidad de 192 MW de potencia que se utilizó como prototipo para el reactor BWR-5 instalado en Laguna Verde.



Introducción



En la fisión controlada o incontrolada, la masa de las partículas reactantes es mayor que la masa de los productos y la diferencia de masa aparece como energía, de acuerdo con la ecuación de Einstein. Según dicha fórmula, una pequeña cantidad de masa, libera gran cantidad de energía, pues la velocidad de la luz al cuadrado es un número muy grande, que al ser multiplicado por la masa, da como resultado, una energía muy grande en comparación con la masa transformada.

Para tener una idea más clara de la energía desprendida, un reactor nuclear es capaz de transformar diez miligramos de masa, en energía que puede ser utilizada durante una hora, teniendo en cuenta que toda esta energía será aprovechada.

Entonces $W=E/T$, donde E: es la energía que se demanda, T: es el tiempo y W: es la potencia generada. Una hora tiene una duración de 3600 segundos, de aquí obtenemos el valor del tiempo T: 3600seg.

La energía liberada E: es el resultado de multiplicar la masa $M = 10$ [miligramos] del elemento, por la única velocidad que puede permanecer constante, que es la velocidad de la luz.

$C = 3 \times 10^8$ [Km/seg], esta velocidad al elevarse al cuadrado nos da por resultado.
 $C^2 = 9 \times 10^{16}$ [Km/seg]² = 9×10^{13} [m/seg]², que es la velocidad de la luz elevada al cuadrado.

De esta forma:

$$E = mc^2 = 0.01 \text{ [Kg]} \times 9 \times 10^{13} \text{ [m/seg]}^2 = [1 \times 10^{-2} \text{ (Kg)}] \times [9 \times 10^{13} \text{ (m/seg)}^2]$$
$$= 9 \times 10^{13-2} \text{ [Kg] [m/seg]}^2 = 9 \times 10^{11} \text{ [Kg] [m/seg]}^2 = 9 \times 10^{11} \text{ Jouls}$$

Si dividimos la energía desprendida por diez miligramos de masa, entre el tiempo de generación, obtenemos como resultado la potencia generada, que en este caso es:

$$W = E/T = mc^2/T = [1 \times 10^{-2} \text{ (Kg)}] \times [9 \times 10^{13} \text{ (m/seg)}^2] / 3600 \text{ seg.}$$
$$W = E/T = [9 \times 10^{11} \text{ Jouls}] / 3600 \text{ seg.} = 25 \times 10^7 \text{ Watts} = 250 \times 10^6 \text{ Watts} = 250 \text{ MW}$$

La potencia total generada por diez miligramos de masa es de 250 MW, que es una cantidad enorme, en comparación con la masa utilizada. Una casa convencional consume en promedio 3.3 KWh en 1 hora, teniendo esto en cuenta, con la potencia generada por diez miligramos de material podríamos satisfacer la demanda eléctrica de 75,756 hogares considerándose que cada hogar demande la máxima potencia de consumo o carga eléctrica, (televisión, horno de microondas, refrigerador, estufa, calefacción...etc. Totalmente conectados). Teniendo en cuenta que casi nunca se llega a tener todo conectado, significa que casi nunca consumimos 3.3 KWh en 1 hora, y si además consideramos que por la noche apenas se consume energía, se podrían energizar a más del doble de hogares.



Capítulo 1

1 Energía nuclear (introducción)

Se describe en este capítulo el funcionamiento general de las centrales nucleoelectricas y las características principales de los reactores. Se mencionan los reactores más avanzados que existen en la actualidad así como algunas de las ventajas sobre sus predecesores.

En el presente capítulo se describen brevemente los componentes esenciales de una central Nucleoelectrica además de los procesos internos efectuados en la generación de energía eléctrica, se describen los tipos de reactores nucleares además de una breve descripción de su funcionamiento, también podremos encontrar los diferentes dispositivos de seguridad implementados desde el diseño operación, mantenimiento y cierre de operaciones de una planta Nucleoelectrica.

1.1 Definición de energía nuclear

- ✓ La energía es una de las principales propiedades asociadas a las sustancias y materiales, su manifestación se realiza al momento en que ocurren transformaciones o cambios físicos en dichos elementos.
- ✓ Lo nuclear se relaciona directamente con lo que pertenece al núcleo del átomo.

Si juntamos estas dos definiciones básicas comprenderemos el gran principio en el que se basa la *energía nuclear*, como una transformación o cambio físico del núcleo del átomo.

La energía nuclear, es la energía que se ocupa de mantener unidas las partículas que forman el núcleo de cada átomo, esta energía puede ser aprovechada, si sabemos que existe un equilibrio entre las partículas que se atraen y las que se repelen, este equilibrio de cargas positivas y negativas en los átomos puede ser *transformado*.

Como sabemos las cargas eléctricas que se repelen anulan a las cargas eléctricas que se atraen, eléctricamente el átomo es neutro, en el caso de los elementos con número atómico mayor a $Z=83$ (radiactivos) con núcleos atómicos pesados como el uranio cuyos números de masa de sus isótopos son 235 y 238 de los cuales solamente el isótopo de uranio 235 se puede utilizar para obtener energía.

Siendo inestables los núcleos de los isótopos de uranio 235 emiten por sí solos energía en forma de calor y ondas electromagnéticas, sólo basta que algún factor externo a los átomos de uranio, altere este frágil e inestable equilibrio, este factor es el choque o colisión de un neutrón con el núcleo del átomo de uranio 235, cambiando este equilibrio de partículas en el átomo se logra una inestabilidad que puede desencadenar en la generación de muchísima energía.



Ahora veremos las dos formas existentes con las que podemos generar energía nuclear.

1. El proceso de Fisión Nuclear genera energía al separar los núcleos de los átomos de elementos muy pesados como son el Uranio 235 y el Plutonio 239, mediante la colisión de pequeñas partículas denominadas neutrones, formando dos nuevos núcleos de masa inferior a la del núcleo original, y produciendo la separación de dos o tres nuevos neutrones, que se aprovechan para fisionar a otros núcleos, continuando así el proceso conocido como reacción en cadena generando una cantidad inmensa de energía liberada en forma de radiación o calor. En estos dos casos la masa de los isótopos antes de la fisión, es mayor que la masa obtenida como resultado de la separación de sus núcleos, esta diferencia de masas es convertida directamente en energía calorífica. El calor obtenido es utilizado para calentar agua en el interior de enormes vasijas de acero conocidas como reactores, produciéndose así el vapor que es utilizado para hacer girar una turbina, este movimiento será transmitido al generador, el cual producirá la electricidad. (la fisión de 1kg de uranio 235, libera 18.7 millones de KWh en forma de calor).
2. Otro procedimiento para generar energía es la Fusión Nuclear que consiste en la unión de átomos muy ligeros (como el hidrogeno) a temperaturas extremadamente altas, formando átomos más grandes y estables, al momento de unirse estos átomos ligeros generan una energía potentísima liberada en forma de radiación o calor. La energía necesaria para lograr la unión de los núcleos se puede obtener utilizando energía térmica o bien utilizando aceleradores de partículas. Ambos métodos buscan que la velocidad de las partículas aumente para así vencer las fuerzas de repulsión electrostáticas generadas al momento de la colisión necesaria para la fusión, aunque ya se han fusionado átomos de hidrogeno, no es un proceso controlado. La fusión incontrolada se da en la explosión de una bomba de hidrógeno. Se piensa que la fusión podría ser la responsable de la formación de los elementos químicos existentes. Actualmente la ciencia investiga nuevas formas de poder lograr una fusión fría, la cual se genera a temperatura ambiente mediante un proceso físico-químico.

1.2 Centrales nucleoelectricas

Una central nucleoelectrica es una instalación de tipo industrial donde se convierte la energía contenida en los núcleos de los átomos, en energía eléctrica utilizable. Las plantas nucleoelectricas son parecidas a las plantas termoeléctricas solamente cambia el medio para producir vapor. El vapor a elevada presión es conducido a las turbinas que son impulsadas transmitiendo este movimiento a los generadores que finalmente producen electricidad.

Las centrales nucleoelectricas tienen como característica principal la forma de producir vapor, la energía térmica se produce dentro del reactor que es equivalente a las calderas en las centrales termoeléctricas convencionales, pero la más grande diferencia es la cantidad de combustible utilizado. Las centrales nucleoelectricas que requieren de una cantidad mínima de combustible en comparación con las plantas termoeléctricas que necesita consumir una elevada cantidad de combustible.



Capítulo 1

Energía Nuclear



La gran crisis energética en la década de los 70's originada por la escasez de petróleo promovió la construcción de las primeras centrales nucleares en el mundo, teniendo como combustible el Uranio, se evitaba tener que depender del petróleo, y de los países exportadores, debido a que con las reservas de Uranio, se puede seguir produciendo energía, durante cientos de años. Actualmente, existen 436 reactores nucleares en el mundo, que generan aproximadamente el 16% del total de la energía mundial.

1.3 Central nucleoelectrónica Laguna Verde.

La planta de generación de energía Nucleoelectrónica Laguna Verde se localiza a orillas del Golfo de México Km 42-1/2 sobre la carretera Cardel-Nautla, en la región conocida como Punta Limón del Mpio. Alto Lucero. Edo. Veracruz. Abarca una extensión de 370 Hectáreas. Cuenta con 2 reactores o unidades generadoras de 682.44 MW eléctricos cada una. Los reactores son marca General Electric, tipo Agua Hirviente (BWR-5), contención tipo Mark II de ciclo directo. Con la certificación del organismo regulador nuclear mexicano, la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas (CNSNS), la Secretaría de Energía otorgó las licencias para operación comercial a la unidad 1 el 29 de julio de 1990 y a la unidad 2 el 10 de abril de 1995. Ambas unidades generan anualmente del 4 al 5% de la energía eléctrica que consume el país, la subestación de la Central Laguna Verde se conecta a la red eléctrica nacional mediante dos líneas de transmisión de 230 KV. A la subestación Veracruz II, así como con 3 líneas de transmisión de 400 KV; dos de ellas a la subestación Puebla II y la tercera a la Subestación Poza Rica II.

1.4 El reactor nuclear de Laguna Verde

Consiste de un recipiente de presión, cilíndrico vertical de acero al carbono con manganeso y molibdeno 21 metros de alto por 5.6 metros de diámetro, tiene un espesor de 13 centímetros, esta recubierto internamente con una capa de soldadura de acero autentico inoxidable de 1/8" de espesor.

El propósito de revestir interiormente todas las superficies de acero es el de reducir al mínimo la corrosión y facilitar la visibilidad durante recargas.

La parte superior del cuerpo cilíndrico tiene una brida de unión con la tapa superior semiesférica, unida mediante pernos a la brida del cuerpo, para cerrar la vasija.

La tapa superior es desmontable para permitir el acceso a la vasija para el mantenimiento y cambio de combustible.

La vasija del reactor está construida para soportar sin daño alguno, una presión y una temperatura de diseño de 87.9 Kg/cm² y 302°C respectivamente.



Capítulo 1

Energía Nuclear



Los principales componentes internos del reactor son:

- ✓ El núcleo
- ✓ El separador de humedad
- ✓ El secador de vapor
- ✓ Y las bombas de tobera.

Fuera de la vasija, pero formando parte del reactor nuclear, se encuentran:

- ✓ Los mecanismos impulsores de las barras de control, así como,
- ✓ Las tuberías y bombas de recirculación.

Las principales tuberías y conexiones a la vasija son:

- ✓ Salidas de vapor a la turbina
- ✓ Sistema de recirculación
- ✓ Alimentación de agua
- ✓ Agua para aspersión del núcleo
- ✓ Inyección de agua a baja presión y de remoción de calor residual
- ✓ Venteo de vapor
- ✓ Las penetraciones de los mecanismos impulsores de las barras de control.

1.5 Núcleo del reactor de laguna verde

Consiste en 444 ensambles de combustible; Un ensamble es un arreglo generalmente de 8x8 varillas de material zircaloy 2, de las cuales 62 contienen uranio y las otras dos son huecas por las cuales fluye refrigerante.

Son aproximadamente de 4 metros de longitud y están sellados herméticamente en ambos extremos, en el interior contienen pastillas cilíndricas de dióxido de uranio (UO_2) concentrado, enriquecido aproximadamente al 3% de uranio 235.

Los ensamble de combustible están montados en una placa soporte y rodeados de un canal de sección cuadrada, también de zircaloy, por donde fluye el refrigerante.

Por cada grupo de cuatro ensambles (celda de combustible) hay una barra de control en forma de cruz, que contiene carburo de boro encapsulado en tubos y placas de acero inoxidable.

Por su geometría, se requieren 109 barras para regular la reacción en cadena y se introducen mediante los mecanismos impulsores desde la parte inferior del núcleo.

En el núcleo se produce la energía de fisión, que es extraída por el fluido refrigerante para producir el vapor.



Anualmente se introducirán del orden de 96 ensamblajes aproximadamente, al 3.56% de enriquecimiento, en promedio, para reemplazar otros ensamblajes cuyo enriquecimiento ha disminuido debido a las fisiones del uranio 235 para producir energía. Estas son las recargas de combustible que permiten al reactor seguir operando.

1.6 Elementos que componen la central Laguna Verde

Considerando que la mayoría de las centrales núcleo-eléctricas cuentan con características similares, la principal diferencia es el funcionamiento del reactor, tomando como modelo la central nucleoelectrónica de Laguna Verde y la información proporcionada por la misma podemos identificar los principales elementos de la central que son los siguientes.

1. Reactor
2. Núcleo del reactor
3. Barras de control
4. Contenedor primario
5. Contenedor secundario
6. Turbina de alta presión
7. Turbina de baja presión
8. Generador
9. Condensador
10. Bombas

Todos estos elementos son importantes, para que se lleve a cabo el ciclo termodinámico, el cual permite el cambio de estado del agua, de líquido a vapor a alta presión, el cual dará paso al movimiento de las turbinas.

1.7 Etapas de generación de energía en una central nucleoelectrónica

Existen tres etapas en las que se genera energía.

1. El calor generado se utiliza para producir vapor a elevada presión y temperatura.
2. El vapor producido es utilizado para mover turbinas que transmiten la energía mecánica a los generadores.
3. Los generadores transforman la energía mecánica en energía eléctrica.



1.8 Componentes esenciales de un reactor nuclear

Un reactor está formado por 4 elementos básicos los cuales son: combustible, material de control, moderador y fluido refrigerante.

1.9 Combustible nuclear.-

El combustible nuclear más utilizado es el uranio y puede utilizarse de dos formas: natural y enriquecido.

- Uranio natural, que contiene 0.72% de uranio 235 y 99.38% de uranio 238 el cual no se fisiona, colocándose en los reactores en forma metálica o de dióxido de uranio (UO_2).
- Uranio enriquecido, al que artificialmente se eleva su concentración de uranio 235 hasta un 3% o 4% disminuyéndose la concentración de uranio 238 al 96 o 97%
- Combustible nuclear artificial, existen otros materiales fisionables que pueden usarse como combustible como son: el uranio 233 y el plutonio 239 que se producen artificialmente, a partir del torio 232 y del uranio 238, respectivamente, son elementos que al irradiarse con neutrones, produce algún combustible nuclear, en lo que se conoce como una reacción de cría, el 100% del torio que existe en la naturaleza es torio 232, que es un material fértil para la cría de uranio 233. El plutonio 239 se cría a partir del uranio 238.

Después de la explotación del uranio en minas a cielo abierto o subterráneo, comienza el proceso para su utilización como combustible, el uranio natural se convierte en uranio concentrado en las “Plantas de Beneficio” instaladas por lo regular cerca de las minas de uranio natural, el mineral se purifica por intercambio iónico o por extracción mediante solventes, recuperando finalmente el uranio concentrado, forma en la que el combustible, se adquiere mundialmente con una pureza de 85% de óxido de uranio.

El combustible nuclear concentrado es enviado a las “Plantas de Conversión” donde el concentrado de uranio es convertido en dióxido de uranio (UO_2), para ser posteriormente transformado en tetrafluoruro de uranio que al combinarse con flúor gaseoso produce hexafluoruro de uranio (UF_6), que es enviado a las “Plantas de Enriquecimiento” dentro de recipientes de acero evitando la humedad del medio ambiente, debido a su fácil reacción con el agua y materiales orgánicos, ya en las plantas de enriquecimiento se logra separar el uranio 235 del uranio 238, bombeando el hexafluoruro de uranio (UF_6) a través de la difusión selectiva del uranio 235 que se logra mediante el paso del compuesto por una membrana porosa en un proceso conocido como (difusión gaseosa). También se logra la separación del uranio 235 mediante la (centrifugación gaseosa) que consiste en el bombeo del hexafluoruro de uranio hasta un cilindro que gira a gran velocidad aprox. 400 m/s, concentrándose el uranio 235 cerca del eje del cilindro consecuencia de la aceleración centrífuga que sufre el gas.



Capítulo 1

Energía Nuclear



Se fabrican pequeñas pastillas cilíndricas que se introducen en tubos herméticos de aleaciones especiales de circonio, normalmente de un poco más de un centímetro de diámetro y varios metros de longitud, que tienen la función de contener los productos formados en la fisión, además de proteger las pastillas de la corrosión y la erosión del fluido refrigerante.

Después de su enriquecimiento el combustible nuclear se prensa para darle forma de pastillas que reciben diversos procesos térmicos y metalúrgicos, estas pastillas de combustible se cargan en tubos de zircaloy material que resiste las elevadas temperaturas que se generan dentro del reactor fabricados bajo el más estricto control de calidad.

Una vez cargados los tubos con las pastillas y sellados, se inspeccionan por un método de mapeo de radiación gamma, con lo que se asegura que han sido llenados y sellados correctamente, cada varilla combustible se ensambla sobre un soporte diseñado con una abertura central por donde circula el refrigerante, la parte superior del soporte cuenta con una asa para poder transportar el combustible mediante la grúa de carga del reactor y cada ensamble de combustible es identificado con un número que indica su posición dentro del reactor, terminada la fabricación de ensambles se envían al sitio del reactor donde serán cargados.

Los ensambles una vez cargados dentro del reactor podrán generar energía continua, de 1 año, hasta año y medio a plena potencia, después de este tiempo disminuye la reactividad del núcleo del reactor, siendo necesario efectuar una recarga parcial de combustible que reestablezca la generación de energía a plena potencia, siendo reemplazados los ensambles que agotaron su contenido de uranio 235, la cantidad de ensambles reemplazados y su enriquecimiento dependerán de la energía que quiera generarse así como del número de recargas que se quieran realizar.

1.10 Material de control.- Es el Material que controla la generación de energía, en el reactor se tienen los elementos llamados barras de control, que se encargan de mantener la intensidad de la reacción en cadena que ocurre en su interior, dentro de los límites deseados y de conformidad con la cantidad de energía térmica que se quiera producir.

Las barras de control contienen cadmio o carburo de boro, mismo que tiene la propiedad de capturar neutrones, base para el control de la fisión.

- En caso de querer subir la potencia del reactor (aumentar la intensidad de la reacción nuclear) sólo hay que extraer las barras de control, hasta lograr la potencia deseada.
- Si se desea disminuir la intensidad de la reacción nuclear que ocurre dentro del reactor, basta con insertar las barras de control entre los ensambles de combustible del núcleo, en la medida de la disminución deseada. Las barras se encargan de capturar gran parte de los neutrones libres, reduciéndose la cantidad de fisiones y por lo tanto la energía térmica producida por el reactor.



1.11 Moderador.- Lo que hace posible la fisión dentro del reactor es el moderador. Para que el choque de un neutrón con un núcleo de uranio 235 pueda producir energía, se necesita que la velocidad del neutrón sea de 2Km/seg. Cuando el neutrón nace de una fisión, lleva una velocidad de 20,000Km/seg., (una energía muy elevada 1megaelectrón-volt.(Mev)), es necesario que disminuya su velocidad, para que este neutrón pueda fisionar nuevos núcleos de uranio 235 y así efectuar lo que se conoce como reacción en cadena. Se disminuye la velocidad del neutrón sin absorberlo, hasta una velocidad de 2 Km/s, mediante una serie de colisiones elásticas, con núcleos de átomos ligeros de elementos como son: hidrogeno, deuterio o carbono.

Los moderadores deben de reunir estas características, tener masa atómica ligera, no absorber neutrones y tener elevada densidad.

Entre los moderadores más comunes podemos encontrar: el grafito, el agua ligera u ordinaria, y el agua pesada ó Deuterio (formado cada átomo de Deuterio con la unión de dos átomos de hidrogeno), cada moderador absorbe distinta cantidad de neutrones, el agua natural captura más neutrones que el agua pesada, por lo que los reactores que usan agua natural como moderador necesitan aumentar el numero de isótopos de uranio por medio de uranio enriquecido, compensando la disminución de neutrones y su efecto sobre el número de fisiones.

1.12 Fluido refrigerante.- el fluido refrigerante, reúne las siguientes características como son: no capturar neutrones, tener un elevado calor específico y no ser corrosivo.

En los reactores de uranio enriquecido, además del agua ordinaria y (agua desmineralizada), los fluidos refrigerantes más utilizados son:

- ✓ los gases refrigerantes, como el bióxido de carbono y el helio.
- ✓ agua pesada en los reactores de uranio natural.
- ✓ sodio fundido en los reactores rápidos.

En los reactores del tipo de agua en ebullición (BWR) - Reactor de Agua en Ebullición - como en Laguna Verde, el vapor se produce directamente en el reactor.

El fluido refrigerante, impulsado por una bomba, pasa por el núcleo del reactor a alta presión circula entre los ensambles de combustible y hierve al extraer el calor que se produce por la fisión nuclear del combustible convirtiéndose en vapor húmedo que tiene una calidad del 14%, se separa del agua, se seca dentro de la vasija del reactor, hasta alcanzar una calidad del 99.7%, para enviarse directamente por cuatro tuberías a las turbinas de alta presión y luego a las de baja presión.



Capítulo 1

Energía Nuclear



Las turbinas están especialmente diseñadas para evitar cualquier partícula de agua debido a que una partícula por más pequeña, debido a la presión sería capaz de causar daños a los conductos, este movimiento será transmitido al generador, el cual producirá la electricidad.

Luego de mover las turbinas, el vapor pasa a la caja del condensador, que opera al vacío, donde se enfriará con agua de mar y se convierte nuevamente en líquido.

El caudal es de aproximadamente $28 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua de enfriamiento fluye por los tubos del condensador a presión atmosférica, no entrando en contacto con el agua desmineralizada del reactor.

El agua de mar se descarga a un canal abierto de 1680 metros de longitud, para disipar el calor adquirido en el condensador antes de incorporarse de nuevo al Golfo de México.

El agua desmineralizada antes de precalentarse y bombearse a la vasija del reactor para cerrar el ciclo, se hace pasar por filtros con resinas de intercambio iónico donde se le quitan impurezas.

Posteriormente es incorporada por un sistema de bombas al reactor venciendo la presión interna del mismo, de 70 Kg/cm^2 aproximadamente

1.13 Tipos de reactores

Esencialmente existen dos tipos de reactores:

1. Reactores de potencia.- Utilizados en las centrales nucleares, para producir electricidad, se construyen con una capacidad de generación muy grande.
2. Reactores de investigación.- utilizados para la investigación científica.

Los reactores de investigación, suelen funcionar con niveles de potencia de orden de 1 MW, Una variedad muy empleada es el llamado reactor de piscina, el núcleo del reactor está formado por material parcial o totalmente enriquecido en uranio 235, contenido en placas de aleación de aluminio y sumergido en una gran piscina de agua que sirve al mismo tiempo de moderador y refrigerante. Con este reactor pueden producirse diversos isótopos radiactivos para su empleo en medicina, investigación e industria. También pueden extraerse neutrones del núcleo del reactor mediante tubos de haces, para utilizarlos en experimentos.

Utilidad de los reactores de investigación:

- ✓ análisis por activación (colocando sustancias directamente en el núcleo del reactor o cerca de este para ser irradiadas con neutrones) las muestras absorben los neutrones convirtiéndose en inestables. y emiten rayos gamma con una cierta energía y un cierto ritmo que le son característicos lo cual permite identificar de qué elemento se trata.
- ✓ producción de radioisótopos (algunos elementos se colocan en el campo de neutrones. Adquieren radiactividad artificial y al retirarlos emiten cierta radiación (rayos gamma, partículas beta) que se utilizan en medicina para tratamiento de enfermedades u otras aplicaciones en la industria, agricultura, etc.
- ✓ capacitación de personal en ciencias y tecnologías nucleares.



1.14 Reactor de investigación en México (ININ) Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares

En el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, opera un reactor TRIGA Mark III desde 1968, con una potencia de 1 MW, es de tipo alberca con núcleo móvil, utiliza agua natural de bajo contenido en sales y minerales, como moderador y refrigerante, como combustible utiliza una aleación de uranio 8.5%-zirconio 89.85%-hidrógeno 1.65%. El núcleo del reactor está compuesto por 85 barras de combustible, 26 son de uranio enriquecido y 59 de uranio natural, 34 elementos de grafito como moderador y cuatro barras o elementos de control. Se inicia la reacción cuando se acerca una fuente de neutrones al combustible, esta fuente de neutrones es una combinación de americio y berilio (Am - Be). Siendo el Americio un elemento inestable que emite partículas alfa, son absorbidas por el berilio, convirtiéndolo también en un elemento inestable, sólo entonces el Berilio emite un neutrón que es absorbido por el uranio produciéndose la reacción en cadena. La potencia de operación en estado estacionario es de 1 MW, llegando a generar una potencia máxima de 2000 MW. Mediante la inserción o extracción de las barras en el núcleo del reactor es posible lograr la potencia deseada o apagar el reactor, todos los elementos que son parte del reactor, piscina del reactor, núcleo e instalaciones experimentales se encuentran dentro de un blindaje de concreto que se eleva 7.9 metros, hasta la plataforma del reactor.

1.15 Otros tipos de reactores nucleares

Existen distintos combustibles, materiales de control, moderadores y refrigerantes los que pueden ser combinados de diversas formas, dando origen a muchos tipos de reactores, los más importantes son:

A continuación en la tabla se muestra los diferentes tipos de reactores base, así como las características principales que los distinguen.

Reactor	Combustible	Moderador	Refrigerante	Material de control
Reactor de agua ligera a Presión (PWR)	Uranio enriquecido	Agua ligera	Agua ligera	Barras de control
Reactor de agua ligera en ebullición (BWR)	Uranio enriquecido	Agua ligera	Agua ligera	Barras de control
Reactor de agua pesada a presión (PHWR-CANDU)	Uranio natural	Agua pesada	Agua pesada	Barras de control
Reactores enfriados por bióxido de carbono y moderados por grafito (GCR)	Uranio natural	Grafito	Bióxido de carbono	Barras de control
Reactores rápidos de cría enfriados por sodio (LMFBR)	Uranio enriquecido y plutonio	Uranio natural	Sodio líquido	Barras de control
Reactores de alta temperatura enfriados por gas (HTGR)	Uranio enriquecido	grafito	helio	Barras de control

Cap.1 Tabla 1 Características principales de los diferentes tipos de reactores base (El autor con datos de CFE, 2008)



1.16 Reactor tipo (PWR) reactores de agua ligera a presión PRESSURIZED WATER REACTOR.

- Reactor de agua presurizada descrito por sus iniciales en inglés (PWR) “Pressure Water Reactor” La vasija presurizada de un reactor común tiene unos 15 metros de altura y 5 metros de diámetro, con paredes de 25 centímetros de espesor, el núcleo contiene unas 80 toneladas de dióxido de uranio (uranio enriquecido), contenidas en tubos delgados resistentes a la corrosión y colocados en grupos de combustible.
Es de los reactores más comunes, existen más de 230 reactores de generación eléctrica.
- Este tipo de reactores tienen de combustible (uranio enriquecido) y agua ligera a presión que cumple la función de (moderador – refrigerante), tienen un primer circuito de agua, que fluye atravesando el núcleo a elevada presión, a pesar de la elevada temperatura dentro del reactor el agua no entra en ebullición debido a la presión interna en la vasija.
- El agua caliente se extrae del reactor y se envía al generador de vapor, ubicado en un segundo circuito de agua, el generador de vapor, no es más que un intercambiador de calor, donde el agua, cede gran parte de su energía calorífica a otro volumen del mismo líquido, para después retornar al reactor.
- El agua que fue calentada en el generador de vapor, entra en ebullición, produciéndose así el vapor que finalmente se utiliza para mover las turbinas, para posteriormente ser condensado por un tercer circuito de agua, procedente de un lago, río o una torre de refrigeración.
- Estos reactores tienen de 200 a 400 ensamblajes de combustible colocados verticalmente dentro del núcleo cada ensamble tiene aproximadamente 50 barras de combustible, un reactor promedio contiene de 80 a 100 toneladas de uranio.

1.17 Reactor tipo (BWR) reactores de agua ligera en ebullición BOILING WATER REACTOR

- Reactor de agua hirviente descrito por sus iniciales en inglés BWR (Boiling Water Reactor), Del mismo tipo de reactor que el utilizado en Laguna Verde BWR-5, tiene un solo circuito de agua a menor presión de forma que el agua hierve dentro del núcleo del reactor.
- Emplean como combustible uranio enriquecido y agua ligera como (moderador - refrigerante)
- Para los reactores BWR el agua entra en ebullición en el interior de la vasija, produciéndose así directamente, el vapor que se utilizara para mover el turbogenerador; el vapor posteriormente es condensado por el agua de enfriamiento procedente de una fuente independiente como un lago, río o el mar, y es regresado en forma de agua caliente al reactor para repetir el ciclo.
- La sencillez de este reactor lo hace el de menor costo, y la ausencia de los generadores de vapor determina que su eficiencia sea un poco más elevada que la del (PWR).
- Ambos reactores integran la familia de los reactores de agua ligera, que dominan ampliamente el mercado de la industria Nucleoeléctrica.



1.18 Reactor tipo CANDU (PHWR) reactores de agua pesada a presión PRESSURIZED HEAVY WATER REACTOR

- La principal característica de este reactor, desarrollado en Canadá y conocido también como CANDU (Canadian Deuterium Uranium), consiste en que utiliza uranio natural como combustible y agua pesada como moderador y refrigerante.
- El núcleo del reactor CANDU, se encuentra contenido dentro de un cilindro lleno de agua pesada denominado (Calandria), el cual está atravesado por tubos de paredes gruesas llamados (tubos de presión), en cuyo interior se alojan los elementos combustibles, por dentro de los tubos, bañando los elementos combustibles para refrigerarlos, circula agua pesada en un primer circuito, cuya temperatura, se eleva considerablemente sin llegar a entrar en ebullición, debido a la elevada presión que prevalece en el interior de los tubos.
- El agua pesada caliente, pasa a los generadores de vapor conectados a un segundo circuito que contiene agua ligera, en los que transfiere gran parte de su energía térmica, regresando posteriormente al reactor de esta forma continúa el proceso de refrigeración del núcleo del reactor, el agua ligera al ser calentada entra en ebullición, produciéndose el vapor que mueve los turbogeneradores; este vapor, es después condensado y regresado como agua caliente al generador de vapor, para repetir el ciclo.

1.19 Reactores enfriados por bióxido de carbono y moderados por grafito (GCR) GAS COOLED REACTOR.

- Los reactores (GCR) utilizan bióxido de carbono como refrigerante, grafito como moderador y uranio natural en forma metálica como combustible.
- En estos reactores la vasija se reemplaza por un contenedor de concreto, el núcleo está formado por una gran cantidad de ensamblajes combustibles, localizados en el interior de una pila de bloques de grafito, por la que atraviesan los ductos en los que circula el gas refrigerante o bióxido de carbono (CO_2), este gas arrastra el calor generado por la reacción nuclear y al circular posteriormente por el serpentín de un intercambiador de calor lleno de agua eleva la temperatura de esta, haciéndola hervir, el vapor producido es conducido al turbogenerador para generar la energía eléctrica, posteriormente es condensado y regresado al intercambiador de calor, para repetir el ciclo, el gas CO_2 , después de ceder gran parte de su calor al agua, es recirculado de nuevo a través del núcleo para mantenerlo refrigerado.



1.20 Reactores rápidos de cría enfriados por sodio LIQUID METAL FAST BREEDER REACTOR (LMFBR).

- Los reactores rápidos funcionan con neutrones de elevada energía, produciendo más combustible que el que se consume en operación. Esto es posible gracias a la propiedad que tiene el uranio 238 de convertirse en plutonio 239 mediante la captura de un neutrón libre, puede ser utilizado en la creación de combustible, este reactor utiliza combustible enriquecido en más del 20%, ya sea con uranio 235 o plutonio 239 y sodio líquido como refrigerante.
- Se caracteriza por que el núcleo está rodeado por uranio natural, que al absorber neutrones poco moderados, se transforma en plutonio y de esta manera crea nuevo combustible.
- Todo el conjunto del núcleo y combustible mide unos 3 metros de alto por unos 5 metros de diámetro, y está montado en una gran vasija que contiene sodio líquido que sale del reactor a unos 500° C, el vapor se genera en un circuito secundario de sodio separado del circuito de refrigeración del reactor, por los intercambiadores de calor intermedios, para posteriormente mover el turbogenerador, condensarse y repetir el ciclo. Todo el sistema del reactor nuclear está situado dentro de un gran edificio de contención de acero y hormigón.
- El reactor (LMFBR) produce aproximadamente un 20% más de combustible del que consume.
- En un reactor grande, a lo largo de 20 años se produce suficiente combustible para cargar otro reactor de energía similar, el plutonio criado puede utilizarse como carga inicial de nuevos reactores de cría o como recargas de reactores CANDU, PWR, BWR o GCR.

1.21 Reactores de propulsión

- Se emplean reactores nucleares tipo PWR. Existen más de 100 reactores de propulsión utilizados como fuente de energía por la marina, para la propulsión de grandes buques de superficie, como portaaviones y submarinos nucleares.
- Los reactores para propulsión de submarinos suelen ser más pequeños y emplean uranio muy enriquecido para que el núcleo pueda ser más pequeño, Estados Unidos, Gran Bretaña, Rusia y Francia disponen de submarinos nucleares equipados con este tipo de reactores.
- Los soviéticos construyeron el primer rompehielos nuclear, para emplearlo en la limpieza de los pasos navegables del ártico.

1.22 Reactores de tercera generación o avanzados

Estos reactores han avanzado con el paso del tiempo mejorando muchas de sus características físicas y de funcionamiento, por lo que actualmente tienen diferentes nombres, también influye el país de origen, pero tienen el mismo principio de funcionamiento.



Capítulo 1

Energía Nuclear



Aunque pocas plantas nucleares están siendo construidas ahora en comparación con los 70s y los 80s la operación de plantas con reactores de tecnología reciente están produciendo más electricidad, algunos de estos datos sugieren una cercanía al máximo de utilización, esta mejoría responde a que muchos reactores han reducido el tiempo y número de recargas. Tienen que parar cada 12 o 18 meses para recargar combustible y por rutinas de mantenimiento. Se muestran algunas de las características de los reactores de Tercera generación Plus como son: capacidad, certificados, año de entrada en operación, tiempo de construcción, tiempo de vida (tiempo estimado de diseño) y costos estimados de implementación.

País y desarrollador	Reactor	Capacidad (MW)	Estado de avance	Principales características
EUA- Japón (GE-Hitachi-Toshiba)	ABWR	1,300	Operación comercial en Japón desde 1996-7. En US: NRC certificado 1997, FOAKE, licitado para Finlandia.	Diseño evolutivo mas eficiente, menos desechos Construcción y operación simplificadas Construcción: 48 meses Vida: 60 años. Costos estimados: 1700 US\$/KW, 7 US¢ / KWh
Corea del Sur (derivada de Westinghouse)	APR-1400 (PWR)	1,400	NRC certificado 1997, en desarrollo para Corea del Sur en Shin Kori 3 y 4, se espera entrada en operación en 2010	Diseño evolutivo Incremento de confiabilidad construcción (48 meses) y operación simplificadas Costo estimado: 1200 – 1400 US\$ / KW
Estados Unidos (Westinghouse)	AP-600 AP-1000 (PWR)	600- 1,000	AP-600: NRC Certificado 1999, FOAKE: AP – 1000 Certificado 2004.	Características de seguridad pasiva Construcción y operación simplificadas Construcción: 3 años Vida de planta: 60 años Costos estimados: 1000 - US\$ / KW, 3.5 US¢ / KWh
Japón (Westinghouse, Mitsubishi)	APWR	1,500	Diseño básico en progreso. Pareja de unidades planeada para Tsuruga	Características de seguridad híbridas Construcción y operación simplificadas
Francia-Alemania (Framatome ANP)	EPR (PWR)	1,500-1,750	Confirmado como el futuro reactor estándar francés, diseño completo, licitado para Finlandia	Diseño evolutivo Características de seguridad mejoradas Alta eficiencia del combustible Bajo costo de la electricidad



Capítulo 1

Energía Nuclear



Alemania (Framatome ANP)	SWR- 1000 (BWR)	1,000- 1,290	En desarrollo, licitado para Finlandia	Diseño innovador Alta eficiencia del combustible Características de seguridad pasiva Recargas cada 24 meses
EUA (GE)	ESBWR	1,390	Desarrollado a partir del ABWR, pre-certificación en USA	Diseño evolutivo Tiempo de construcción corto Características de seguridad aumentadas
Rusia (Minatom)	VVER (PWR)	1,500	Reemplazos para plantas de Leningrad y Kursk	Desconocido
Rusia (AEE)	VVER- 91 (PWR)	1,060	Dos en construcción en Tianwan, China, licitado para Finlandia	Diseño evolutivo Vida de planta: 60 años Características de seguridad pasiva
Canadá (AECL)	CANDU- 9	925-1,300	Licencia aprobada en 1997	Diseño evolutivo Unidad solo individual Requerimientos flexibles de combustible Características pasivas de seguridad
Canadá (AECL)	ACR	700- 1,000	ACR-700: pre- certificación en USA, ACR-1000 impulsado para UK	Diseño evolutivo Enfriamiento con agua ligera Combustible de bajo enriquecimiento Características pasivas de seguridad
Sudáfrica (Eskom, BNFL)	PBMR	165 (modulo)	Prototipo listo para iniciar construcción, entrada en operación comercial en 2006, pre- certificación en USA	Planta modular, bajo costo Turbina de gas ciclo directo Alta eficiencia del combustible Características pasivas de seguridad Resistente a la proliferación
EUA-Rusia (General Atoms- Minatom)	GT- MHR	285 (modulo)	Bajo desarrollo en Rusia por unión multinacional	Planta modular, bajo costo Turbina de gas ciclo directo Alta eficiencia del combustible Características pasivas de seguridad

Cap.1 Tabla 2 Reactores de tercera generación o avanzados



En resumen los reactores tercera generación plus cuentan con las siguientes ventajas sobre sus predecesores:

1. Un diseño estandarizado para cada tipo de reactor para la expedición de licencia, reducción de costo de capital y reducción del tiempo de construcción.
2. Un diseño mas simple y mas robusto, que lo haga mas fácil de operar y menos vulnerable a incidentes operacionales.
3. Mayor disponibilidad y vidas de operación más largas – típicamente 60 años.
4. Reducida probabilidad de accidentes de fundición del núcleo.
5. mínimo impacto sobre el medioambiente.
6. quemado de combustible alto (extracción de energía alta) para reducir la cantidad de combustible requerido y reducir la cantidad de residuos producidos.
7. uso de de absorbedores de neutrones consumibles (“venenos”) para extender la vida del combustible.

1.23 Diseño y seguridad

Al tratar este tema se impone antes que nada desvanecer el temor infundado, pero por desgracia bastante frecuente, de que una de estas centrales pueda estallar o comportarse como una bomba atómica.

Para que ocurra una explosión atómica, el artefacto explosivo requiere de material fisionable (Uranio 235 o plutonio 239), cuya pureza sea superior al 95% y, además, que se construya a base de piezas con formas específicas que se unan rápidamente por medio de explosivos convencionales.

Ninguna de estas condiciones se cumple en el caso de los reactores nucleares cuyo combustible apenas contiene 3.56% en promedio de material fisionable, en forma de pequeñas pastillas cilíndricas, además la reacción en cadena que provoca una explosión atómica es incontrolada, mientras que en el caso de los reactores nucleares dicha reacción está continuamente bajo estricto control por las barras de control, que contienen carburo de boro elemento que absorbe los núcleos fisionables, de esta forma en caso de ruptura en las barras de control no existirá ninguna reacción incontrolada.

El riesgo en las plantas nucleoelectricas proviene del material radiactivo que se produce durante la reacción de fisión, pero una vez aclarado que una planta Nucleoelectrica no puede hacer explosión examinemos los distintos factores que determinan que una central nuclear, como la de Laguna Verde, sea una instalación industrial de máxima seguridad.

El diseño de una Nucleoelectrica se concibe previniendo no la ocurrencia de un accidente cualquiera, sino precisamente la de aquel que tuviera lugar durante las peores condiciones que pudieran presentarse en el sitio en función de los requisitos y características determinados. Es este precisamente el que se conoce como Accidente de Base de Diseño y los criterios de diseño requieren que se analicen ante condiciones de sismo y vientos máximos posibles.



1.24 Sistemas de enfriamiento de emergencia del núcleo del reactor de la Central Nuclear Laguna Verde

El diseño incluye una serie de sistemas cuya misión es:

1. Detener la operación del reactor ante cualquier situación que pudiera poner en riesgo la seguridad.

Esto se logra mediante la inserción súbita de las barras de control en el núcleo del reactor, operación que se conoce como SAFETY CONTROL ROD AUTONATIC MOTION (SCRAM), y que se lleva a cabo en unos cuantos segundos.

2. Asegurar que el núcleo estará adecuadamente refrigerado en cualquier condición.

Durante la operación normal, esta función la desempeña el sistema de agua de alimentación que consta de dos ramas independientes; cada una de ellas puede proporcionar el 50% del flujo total que se requiere para refrigerar el núcleo en condiciones máximas de generación térmica.

Para que este sistema quedara fuera de servicio, sería necesario que fallasen ambas ramas, de ser así, el enfriamiento del reactor quedaría a cargo de los Sistemas de Enfriamiento de Emergencia del Núcleo (ECCS) por sus siglas en inglés, cuya misión consiste en evitar que este llegue a alcanzar temperaturas superiores a 1500°C, situación que provocaría la fusión de las varillas de combustible.

Estos sistemas de enfriamiento de emergencia del núcleo son:

- ✓ Sistema de Despresurización Automática (ADS)
- ✓ Aspersión del Núcleo de Alta Presión (HPCS)
- ✓ Aspersión del Núcleo de Baja Presión (LPCS)
- ✓ Sistema de Inyección de Refrigerante a Baja Presión (LPCI)

Cualquiera de los cuatro sistemas de enfriamiento mencionados anteriormente, tiene capacidad para mantener refrigerado al núcleo; son totalmente independientes entre sí y, por lo tanto, la probabilidad de que lleguen a fallar simultáneamente es muy pequeña.

En caso de que llegaran a fallar todos los sistemas de enfriamiento de emergencia del núcleo, el calor generado en el núcleo podría fundir las pastillas de combustible y las varillas de Zircaloy que las contienen.

Esto podría ser sumamente peligroso, afortunadamente existen los medios adecuados para evitar la dispersión de los productos radiactivos de fisión, contenidos en el combustible fundido, gracias a un sistema escalonado de barreras que evitaría dicha contingencia:



Capítulo 1

Energía Nuclear



- ✓ Primera Barrera: Las pastillas de combustible, fabricadas de una forma especial para soportar altas temperaturas.
- ✓ Segunda Barrera: Los tubos herméticos de Zircaloy, que encapsulan las pastillas de combustible.
- ✓ Tercera Barrera: La vasija del reactor, que contienen el combustible. Recipiente de acero forjado de aproximadamente 21 metros de altura, 5.6 metros de diámetro y paredes cuyo espesor varía entre 13 y 18 centímetros.
- ✓ Cuarta Barrera: contenedor primario, edificio hermético que rodea la vasija del reactor, construido en concreto fuertemente armado con varillas de 2 ¼" de diámetro. Sus paredes miden 1.5 metros de espesor, formadas internamente con una placa de acero de aproximadamente 1 centímetro de espesor que garantiza una hermeticidad absoluta. La posibilidad de que el material radiactivo pudiese escapar de esta barrera es ya muy pequeña. No obstante se cuenta con otra protección.
- ✓ Quinta Barrera: Contenedor secundario, llamado también edificio del reactor, está diseñado para rodear al contenedor primario y a todos los equipos relacionados con la operación segura del reactor. Es una construcción de concreto armado cuyas paredes tienen de 0.60 a 1.2 metros de espesor. Está provisto de un sistema de control atmosférico que mantiene siempre una presión negativa interior, de tal manera que los productos radiactivos no puedan salir a la atmósfera. En resumen, esta última barrera permite afirmar que aun cuando la probabilidad de que llegue a ocurrir un accidente importante es muy pequeña, en caso de presentarse, no daría lugar a un escape significativo de material radiactivo.

1.25 Residuos radiactivos

Después de ser utilizados los ensambles de combustible nuclear gastados son extraídos del reactor y son almacenados en albercas ubicadas en los edificios de los reactores vigilando cuidadosamente que cumplan con las condiciones necesarias de contención, extracción de calor y decaimiento radiológico lo que no representa ningún riesgo para los operadores de la central ni para el medio ambiente.

Después de cumplir un tiempo de diez años se decide por:

- ✓ Encapsularlo en contenedores herméticos inoxidables en caso de que se considere un residuo radiactivo de alto nivel, confinándolo en formaciones geológicas profundas estables durante tiempo indefinido.
- ✓ Almacenarlo más tiempo de 30 a 50 años, si aun no es considerado un residuo de alto nivel radiactivo, en albercas o almacenes especialmente diseñados dentro y fuera de la central.



Capítulo 1

Energía Nuclear



- ✓ Después se decide si se maneja como residuo radiactivo de alto nivel confinándolo, o es reprocesado separando los productos de la fisión recuperando el uranio y plutonio residuales, estos residuos radiactivos se reutilizan para la fabricación de nuevo combustible de recarga en la propia central en el caso del uranio residual recuperado, el plutonio residual es reutilizado como combustible en los reactores de cría. El reprocesamiento del combustible gastado tiene como principal ventaja un elevado enriquecimiento y disminución de hasta 5 veces el volumen del combustible original.

La operación de una central nucleoelectrónica produce residuos radiactivos sólidos, líquidos y gaseosos. Estos pueden ser de alta, mediana o baja intensidad y de larga, mediana o corta vida media. La vida media es el tiempo que tarda cierta cantidad de material radiactivo en perder la mitad de su actividad.

- Los residuos sólidos son materiales que sufrieron contaminación radiactiva durante todos los trabajos normales de operación o mantenimiento, tales como herramientas, ropa, equipo de trabajo y principalmente los ensambles de combustible que fueron extraídos del reactor por haberse terminado a su vida útil. Aquellos por lo general son de baja intensidad y de corta o mediana vida media, mientras que los últimos contienen una gran diversidad de isótopos radiactivos de elevada intensidad, que pueden ser de corta, mediana o larga vida media.
- Los residuos líquidos y gaseosos son generalmente de baja intensidad y de mediana o corta vida media. Dentro de los primeros podemos mencionar a los drenes del equipo o de piso, algunos desechos químicos y agua mezclada con detergentes. Los residuos gaseosos son gases no condensables que acompañan al vapor y que se separan de él precisamente en el condensador.
- Los residuos líquidos son recogidos cuidadosamente y sometidos a un proceso de filtrado, mediante filtros de resinas de intercambio iónico que retienen las partículas radiactivas. Posteriormente, pueden ser descargados al exterior, previa verificación de que su nivel radiactivo no altera el ambiente.
- Los residuos gaseosos son extraídos del condensador y transportados a un equipo de tratamiento, en donde permanecen el tiempo suficiente para que decaiga su actividad a un nivel tal que puedan ser desalojados hacia la atmósfera en altas diluciones, sin provocar alteraciones en el nivel radiactivo natural del sitio. El mismo equipo se encarga de retener indefinidamente algunos gases radiactivos que, como el yodo 131, tiene una vida media más larga.
- Los residuos sólidos de baja intensidad se colocan en tambores de acero espaciales, mezclados con alguna resina, asfalto (como en el caso en Laguna Verde) o simplemente ahogados en cemento.
- Posteriormente, se almacenan en lugares seguros, durante el tiempo necesario para garantizar que su actividad ha dejado de ser peligrosa.



Capítulo 1

Energía Nuclear



- Debido a la actividad y cantidad de productos de fisión, el mayor problema se presenta con los ensambles de combustible irradiado que son extraídos del reactor. Estos se almacenan temporalmente en grandes albercas localizadas en los propios edificios de los reactores, en espera de que decrezca la radiactividad de los radioisótopos de vida corta o media, contenidos en las pastillas de combustible irradiado.
- Es una práctica común, la permanencia del combustible irradiado en estas albercas, pues se ha llegado a la conclusión de que dicho sitio tiene considerables ventajas como almacén temporal. Los reactores de Laguna Verde están dotados de albercas de decaimiento, con capacidad para almacenar el combustible gastado durante toda la vida activa de la central. Muchas centrales en el mundo se han acogido a esta solución y otras más han adoptado la práctica de construir albercas adicionales.

Al término de este almacenamiento transitorio, tendrá que adoptarse alguna solución definitiva. Las tres opciones conocidas son las siguientes.

1. Introducir los ensambles de combustible irradiado en contenedores especiales, diseñados para conservarse durante miles de años, y enviarlos posteriormente a un depósito de residuos radiactivos. El depósito debe ser subterráneo y construido en un lugar despoblado, donde los estudios geológicos demuestren la estabilidad de las estructuras del subsuelo durante millones de años.
2. Colocar el combustible gastado en los contenedores; almacenarlos en alguna instalación a flor de tierra que sea adecuada durante 30 o 40 años y enviarlos posteriormente al depósito de residuos radiactivos. La ventaja de esta alternativa estriba en primer lugar, en la posibilidad de diferir una gran inversión como la que se requiere para construir el depósito y, en segundo, que las dimensiones del mismo disminuirán sensiblemente, ya que durante el periodo de almacenamiento temporal en la superficie, los contenedores perderían hasta nueve décimas partes de su temperatura inicial. Además podrían ser vendidos o aprovechados en la fabricación de nuevo combustible para reactores nucleares.
3. Además, se recuperarían otros radioisótopos útiles en la medicina, agricultura y la industria. Otra ventaja es que después de extraer todas las sustancias utilizables de combustible gastado, el volumen final de los auténticos residuos radiactivos se reduciría notablemente, se simplificaría su control y disminuiría el monto de la inversión correspondiente al depósito que habría de construirse para almacenarlos definitivamente.

Cualquiera que sea la alternativa que se adopte para salvaguardar los residuos radiactivos de Laguna Verde, en ningún caso llegará a constituir un riesgo para la salud de la población o para la preservación del medio ambiente.

Debe decirse también que existen soluciones para el almacenamiento definitivo y seguro de residuos radiactivos, porque siempre es posible darles una configuración insoluble y estable para evitar su diseminación. El almacenamiento es técnicamente posible y como el volumen de los residuos es relativamente pequeño, su costo es razonable.



Capítulo 2.

2 Generación de energía eléctrica mediante Energía no Renovable

En este capítulo se describen brevemente los tipos de plantas de generación de energía eléctrica que basan su funcionamiento en el consumo de fuentes de energía no renovables como son carbón gas natural y otros derivados del petróleo conocidos como combustibles fósiles debido a su origen o como hidrocarburos debido a sus componentes esenciales, principalmente (hidrogeno y carbono). Se describe además su modo de operación, tomando en cuenta sobre todo que se trata de tecnologías similares, lo único que cambia es el tipo de fuente de generación utilizado para producir electricidad.

2.1 Plantas de generación de energía eléctrica mediante Energía no Renovable

Las plantas generadoras son centrales eléctricas en donde se genera electricidad a partir de distintas fuentes naturales de generación de energía.

El hombre requiere energía eléctrica para su desarrollo y desde hace mucho tiempo emplea diferentes medios de generación, todo depende del agente que mueva al conjunto generador para darle el nombre al tipo de producción de energía eléctrica.

Actualmente los tipos más comunes de plantas generadoras utilizan, de forma esencial una turbina, cuyas características son variadas dependiendo del tipo de fluido que la impulse (agua, gas o vapor), este tipo de fluido utilizado también determina cual será la potencia de generación.

La turbina es accionada por el vapor producido en una o varias calderas tubulares (centrales térmicas), o por la expansión de gases como resultado de la combustión, o debido al calor generado dentro de un reactor nuclear (centrales nucleares)

Existen dos grupos en los que podemos clasificar las distintas fuentes de energía naturales.

- Fuentes renovables.
- Fuentes no renovables.

El primer tipo de fuente o medio de generación de energía eléctrica, se refiere a aquellos medios o recursos energéticos que administrados de forma adecuada pueden explotarse ilimitadamente. El segundo tipo de fuente de energía primaria o fuente no renovable se constituye por combustibles fósiles (hidrocarburos, carbón, y combustibles nucleares), considerados como recursos limitados.



Capítulo 2

Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía no Renovable



Con la finalidad de conocer las características de las centrales eléctricas disponibles actualmente, en este capítulo describiremos las principales tecnologías empleadas en la producción de energía eléctrica que utilizan fuentes de energía no renovables. Las principales tecnologías que se describen producen energía eléctrica a través de máquinas rotativas que emplean distintos tipos de medios de generación como son la energía térmica suministrada al agua mediante la combustión del carbón, gas natural, o diesel, también puede proceder la energía térmica que desprenden los materiales nucleares como el uranio.

2.2 Generación de energía eléctrica utilizando energía térmica (Termoeléctricas)

Una planta termoeléctrica es una instalación en donde a partir del vapor obtenido al hervir agua en una caldera se convierte la energía térmica en energía mecánica necesaria para mover el rotor de un generador que transforma este movimiento en energía eléctrica.

La Generación Termoeléctrica es la que aprovecha la energía química de los combustibles derivados del petróleo como el combustóleo, diesel, gas natural y otros como el carbón mineral, y residuos vegetales, para producir electricidad.

La importancia estratégica de estas plantas consiste en que mientras las hidroeléctricas necesitan de 4 a 7 años para su construcción, una planta térmica se puede poner en operación en 1 ó 2 años; además, cuando el agua de los ríos disminuye es muy importante disponer de plantas que produzcan electricidad de manera constante, independientemente de las variaciones del clima.

Existen varios tipos de plantas térmicas, pero todas se componen de tres elementos básicos:

- Un elemento que produce energía química, combustión o quemado de combustible.
- Un elemento que produce energía mecánica, turbina o motor.
- Un elemento que produce energía eléctrica, generador o alternador.

Estas utilizan la energía mecánica que se puede obtener por medio de las siguientes formas:

1. Motor de combustión interna: Se denomina así porque dicha combustión se realiza en el mismo motor y no en un elemento independiente. Estos motores aprovechan la expansión de los gases producidos por la combustión del diesel o combustóleo en la cámara de un cilindro.
2. Turbina de vapor: Funciona al quemar el combustible en una caldera, generando vapor, el cual por medio de tubería se conduce a través de toberas que le aumentan la velocidad y lo proyectan sobre los alabes de las ruedas que generan el movimiento de la turbina, produciendo la energía mecánica, que acoplada a un generador, la transforma en energía eléctrica.



Capítulo 2 **Generación de Energía Eléctrica** **Mediante Energía no Renovable**



3. Turbina de gas: En ésta, el fluido que produce el movimiento está constituido por los gases de la combustión en cámaras especiales, que elevados a temperatura y presión, mueven los alabes de la turbina y la hacen girar velozmente. El movimiento giratorio del eje de la turbina se trasmite al rotor de un generador que es el que se encarga de producir la electricidad.

En el proceso termoeléctrico existe una clasificación de tipos de generación, según la tecnología utilizada para hacer girar los generadores eléctricos, denominándoseles como sigue:

1. Vapor (fuente de energía: combustóleo): Con vapor de agua se produce el movimiento de una turbina acoplada al generador eléctrico.
2. Carboeléctrica (fuente de energía: carbón): Son plantas térmicas cuya fuente de generación de energía eléctrica se basa en la combustión de carbón, se utiliza carbón natural que al consumirse transmite su energía calorífica a cierto líquido produciendo vapor que impulsa una turbina acoplada a un generador.
3. Dual (fuente de energía: combustóleo y carbón): Plantas de generación que utilizan como combustible carbón natural y/o combustóleo, que al consumirse transmite su energía calorífica a cierto líquido produciendo vapor que impulsa una turbina acoplada a un generador.
4. Geotermoeléctrica (fuente de energía: vapor extraído del subsuelo): se utiliza la energía del subsuelo como fuente de generación térmica natural que transmite su energía calorífica a cierto líquido produciendo vapor que impulsa una turbina acoplada a un generador.
5. Turbogás (fuente de energía: gas natural): Este tipo de plantas térmicas basan la generación de energía eléctrica en la combustión de gas natural, con los gases de combustión se produce el movimiento de una turbina acoplada al generador eléctrico.
6. Nucleoeléctrica (fuente de energía: uranio enriquecido): Plantas térmicas, que utilizan la energía en forma de calor que desprenden las reacciones nucleares para producir electricidad, produciendo vapor que impulsa una turbina acoplada a un generador obteniendo finalmente electricidad.
7. Combustión Interna (fuente de energía: combustóleo, diesel): Tipo de plantas generadoras que utilizan combustóleo puro o mezclado en menor proporción con diesel, inyectado (atomizado) a un motor de combustión interna, que al quemarse expande la mezcla de aire y combustible, produciendo el movimiento del motor.



Capítulo 2

Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía no Renovable



8. Ciclo Combinado (tecnologías: Turbogás y Vapor) (fuente de energía; gas natural y diesel): plantas de generación de electricidad que utilizan gas natural y Diesel como combustibles en dos o más etapas de generación, combinación de las tecnologías de turbogás y vapor. Constan de una o más turbinas tipo turbogás y una turbina de vapor, cada turbina acoplada a su respectivo generador eléctrico.

La mayoría de las plantas generadoras instaladas en México y en el mundo utilizan como combustible fuentes naturales de energía no renovables, produciendo electricidad mediante la energía térmica que proporciona el consumo de algún combustible derivado del petróleo.

A continuación se describen los tipos de termoeléctricas que se clasifican de acuerdo con su capacidad de generación en: 37.5 MW, 84 MW, 160 MW, y 350 MW, en base al tipo de combustibles y procesos utilizados en:

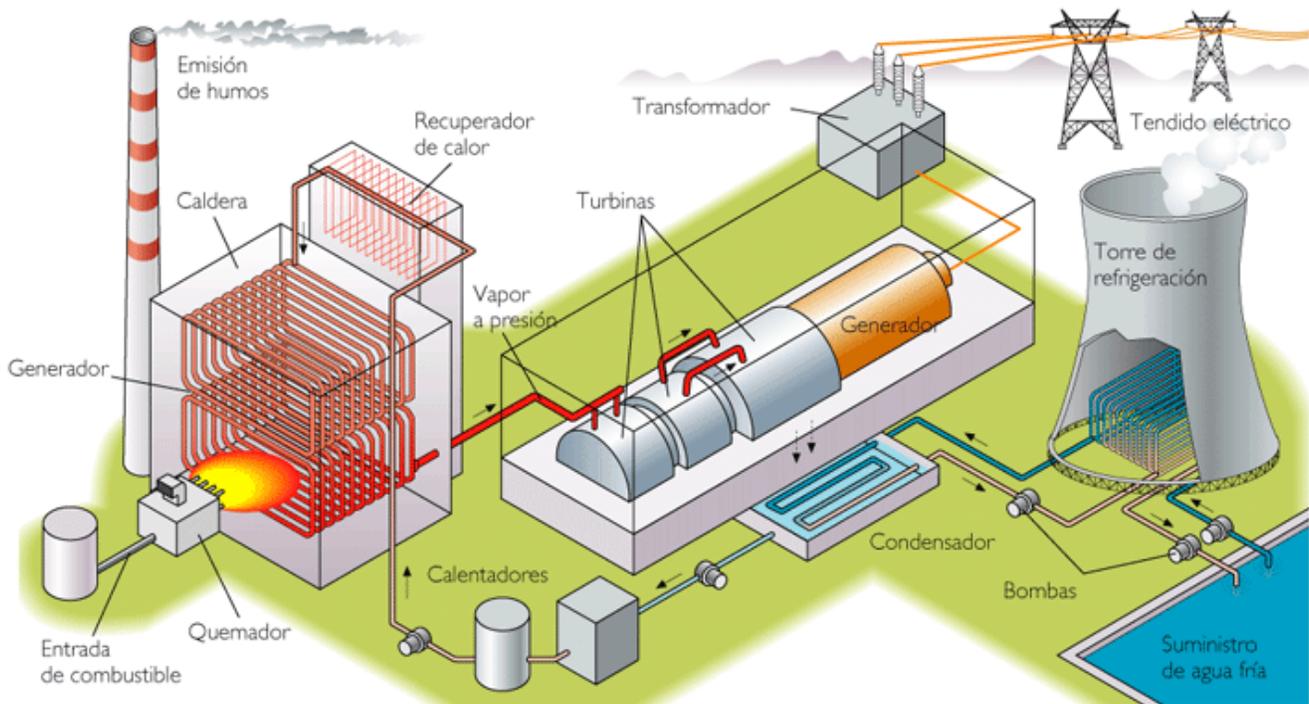
- Termoeléctricas de combustóleo (tipo vapor)
- Termoeléctricas de carbón natural (carboeléctricas)
- Termoeléctricas de gas natural (turbogás)
- Termoeléctricas de combustóleo y carbón natural (duales)
- Termoeléctricas de vapor extraído del subsuelo (geotermoeléctricas)
- Termoeléctricas de gas natural y diesel (tecnologías: turbo gas y vapor) (ciclo combinado)
- Termoeléctricas de combustóleo y diesel (combustión interna ó plantas diesel)
- Termoeléctricas de material nuclear (nucleoeléctricas)

Las centrales termoeléctricas están diseñadas para transformar la energía generada por la presión del vapor en electricidad, el vapor es producido mediante la combustión de gas, combustóleo, diesel o carbón, a partir de agua tratada mediante procesos químicos con el propósito de eliminar las impurezas y sales disueltas en ella (agua desmineralizada), de esta forma se protegen los conductos de vapor, los componentes del generador de vapor y demás elementos auxiliares.

Este primer circuito de agua a elevada temperatura que sale de la caldera, transmite la energía térmica a los generadores de vapor, que son estructuras cuyas paredes y elementos están formados por tubos de diferentes materiales y diámetros, por los cuales circula agua la cual sufre un proceso de evaporación, este vapor se conduce a través de un segundo circuito de tuberías donde la presión impulsa las aspas de las turbinas, convirtiendo la energía térmica en energía mecánica, este movimiento es transmitido al generador que finalmente produce electricidad, después de que el vapor es utilizado se conduce al condensador principal donde es enfriado por el sistema de agua de refrigeración y se regresa nuevamente al generador de vapor .



Capítulo 2 Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía no Renovable



Cap.2 Fig.1 Conversión de energía en una central Termoeléctrica convencional (fuente: Autor, 2009)

El agua que refrigera el condensador expulsa el calor extraído a la atmósfera a través de las torres de enfriamiento, existen dos tipos de torres de enfriamiento.

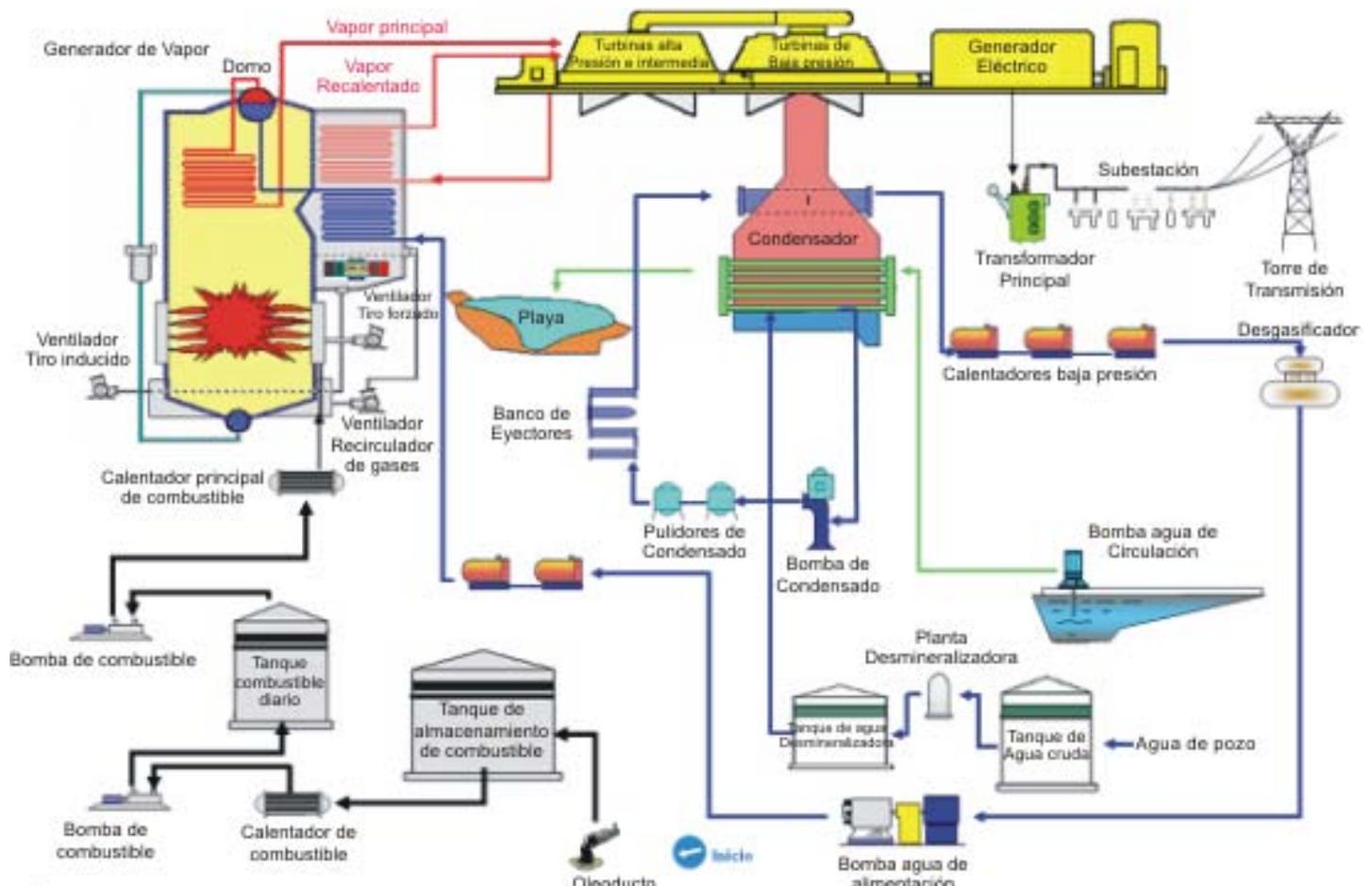
- Enfriamiento por torres húmedas: El sistema de enfriamiento por torre húmeda consume más agua debido a la evaporación ocasionada por factores climáticos ambientales, se calcula un consumo de 1 litro/seg. en 1 MW generado
- Enfriamiento por torres secas: El sistema de enfriamiento por torre seca disminuye el consumo de agua aunque aumenta los costos de inversión.

El Sector Eléctrico Nacional utiliza gas natural en centrales térmicas cercanas a las ciudades y en las centrales térmicas lejanas utiliza combustóleo, además de acuerdo con la información proporcionada por los fabricantes de los equipos y dependiendo también de la calidad del combustóleo, este combustible se puede consumir solo o mezclado con diesel, como en la central térmica de San Carlos en Baja California Sur, tiene dos unidades generadoras (calderas) de 37.5 MW cada una, el combustible que utilizan es una mezcla de 85% combustóleo y 15% diesel.

En México se tienen en operación 318 unidades termoeléctricas, con una capacidad total instalada de 24,372 MW que suministran al Sector Eléctrico Nacional un 75.3% de generación aproximadamente.



Capítulo 2 Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía no Renovable



Cap.2 Fig.2 Diagrama de una Central Termoeléctrica Tipo Vapor (fuente: CFE, 2008)

Las Centrales térmicas convencionales tienen efectos muy contaminantes sobre el entorno debido al consumo de combustibles derivados del petróleo. Independientemente de cual sea el combustible fósil que se utilice (combustóleo, carbón, gas o diesel), el funcionamiento de las centrales termoeléctricas es casi el mismo. Las únicas diferencias consisten en el distinto tratamiento previo que sufre el combustible antes de ser inyectado en la caldera y en el diseño de los quemadores, que varía según sea el tipo de combustible empleado.

Dos Centrales Carboeléctricas y una Dual, las dos primeras se encuentran en la Gerencia Regional de Producción Norte y la última se encuentra en la Gerencia Regional de Producción Occidente. Las dos primeras suman un total de ocho unidades generadoras, mientras que la última tiene seis unidades generadoras, para un total de 14 unidades generadoras por las tres centrales.

Doce Centrales tipo Ciclo Combinado, de las cuales se encuentran dos en la Gerencia Regional de Producción Noroeste, seis en la Gerencia Regional de Producción Norte, dos en la Gerencia Regional de Producción Central (en esta GRP hay también un Paquete de Ciclo



Capítulo 2 Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía no Renovable



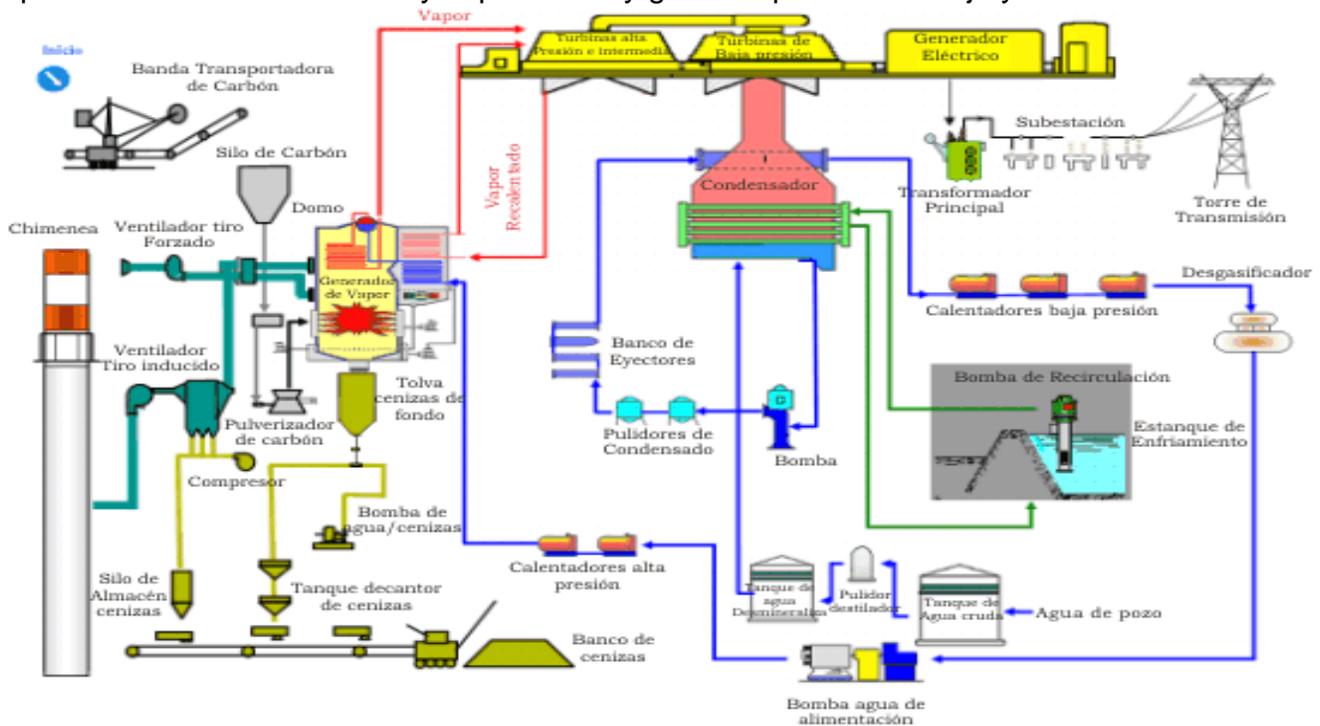
Combinado de cuatro unidades generadoras ubicado dentro de una Central Termoeléctrica) y dos en la Gerencia Regional de Producción Sureste. Suman un total de 54 unidades generadoras de este tipo.

Siete Centrales Geotermoeléctricas, de las cuales se encuentran cinco en la Gerencia Regional de Producción Noroeste, una en la Gerencia Regional de Producción Occidente y una en la Gerencia Regional de Producción Sureste. Suman un total de 38 unidades generadoras de este tipo.

Treinta y dos Centrales Turbogas (Fijas), de las cuales se encuentran nueve en la Gerencia Regional de Producción Noroeste, trece en la Gerencia Regional de Producción Norte, dos en la Gerencia Regional de Producción Central, una en la Gerencia Regional de Producción Occidente y siete en la Gerencia Regional de Producción Sureste. Suman un total de 78 unidades generadoras de este tipo (70 unidades fijas y 8 unidades móviles).

2.3 Plantas de generación de energía eléctrica utilizando como combustible (carbón) (Carboeléctricas).

Las plantas de generación de energía que convierten la energía producida por la combustión del carbón en electricidad se conocen como centrales carboeléctricas, en comparación con otro tipo de centrales térmicas, en las centrales carboeléctricas, el único cambio importante es el uso del carbón como combustible y que las cenizas de los residuos de la combustión, requieren de varias maniobras y espacios muy grandes para su manejo y confinamiento.



Cap.2 Fig.3 Diagrama de una Central Carboeléctrica (fuente: CFE, 2009)



Capítulo 2 Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía no Renovable



Este tipo de centrales térmicas requieren de un adecuado manejo del carbón incluyendo equipos para controlar la emisión de gases contaminantes como es la emisión de CO₂ y residuos de la combustión o (ceniza).

Existen centrales carboeléctricas que utilizan carbón de bajo contenido de azufre, como es la central Carboeléctrica de Río Escondido, Coahuila.

En las centrales carboeléctricas que utilizan carbón con alto contenido de azufre es necesario instalar equipos de control de emisiones conocidos como desulfuradores.

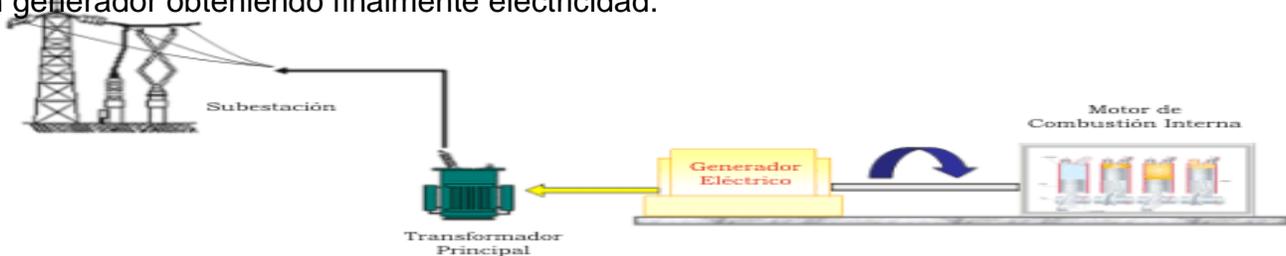
Existen 3 tipos de centrales carboeléctricas clasificadas de acuerdo con el contenido de azufre en el carbón y los componentes utilizados.

- Carboeléctricas sin desulfurador y quemadores duales, utiliza como combustible carbón con bajo contenido de azufre, como la de Río Escondido con alto contenido de cenizas.
- Carboeléctricas sin desulfurador y con quemadores duales (para carbón y combustóleo) utiliza como combustible principalmente carbón con un contenido de azufre del 0.7%.
- Carboeléctricas con desulfurador y quemadores duales (para carbón y combustóleo) utiliza principalmente como combustible carbón con contenido de azufre del 2%.

La experiencia de la Comisión Federal de Electricidad en centrales carboeléctricas proviene de operar la central de 37.5 MW en Nava, Coahuila. También están en operación 4 unidades de 300 MW cada una, de la central José López Portillo (Río Escondido), localizada a 31 Km al suroeste de la ciudad de Piedras Negras, Coahuila, en donde el carbón que se utiliza es de bajo contenido de azufre. Una nueva central de este tipo es Carbón II, que colinda con la central José López Portillo, la cual cuenta con cuatro unidades de 350 MW cada una.

2.4 Plantas de generación de energía eléctrica utilizando como combustible (Diesel) (Plantas Diesel). (combustión interna)

Este tipo de centrales térmicas se caracterizan por tener como principio de funcionamiento los motores de combustión interna, De acuerdo con la información de los fabricantes de los equipos, y dependiendo de la calidad del combustóleo, este tipo de motor puede utilizar combustóleo, diesel, o una combinación de ambos, regularmente se utiliza combustóleo como base mezclado en menor proporción con diesel, aprovechando la expansión de los gases resultado de la combustión para obtener energía mecánica, este movimiento es transmitido a un generador obteniendo finalmente electricidad.



Cap.2 Fig.4 Diagrama de una central de generación de energía eléctrica por combustión interna convencional (fuente: CFE, 2009)



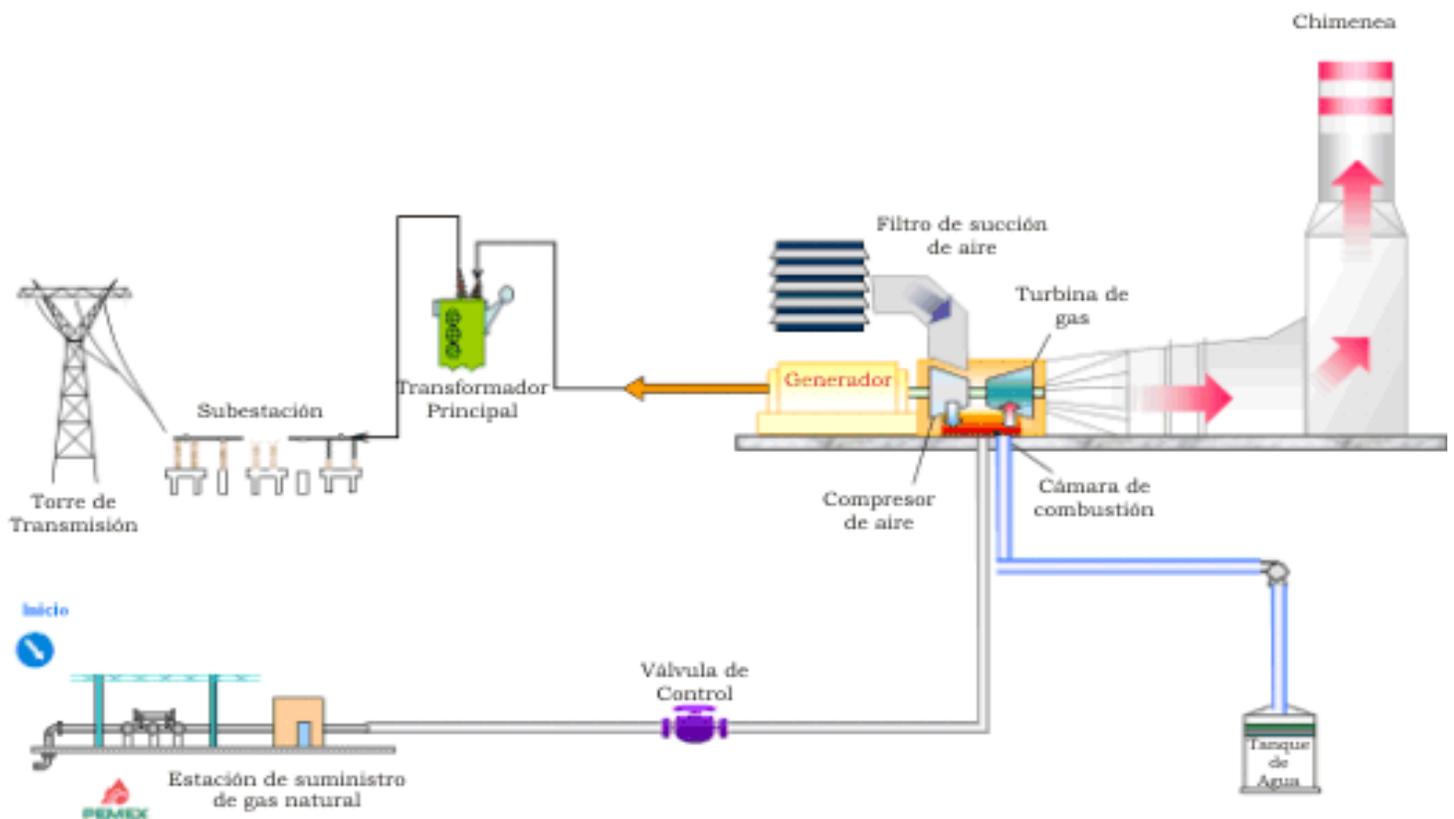
Capítulo 2 Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía no Renovable



La Comisión Federal de Electricidad tiene experiencia en la operación de unidades térmicas tipo diesel, como ejemplo tenemos la central Agustín Olachea localizada en el estado de Baja California Sur que utiliza una mezcla en proporción de 94 partes de combustóleo por 6 de diesel, otro ejemplo lo encontramos en la central de San Carlos que se localiza en Comondú, Baja California Sur, que consta de dos unidades de 37.5 MW cada una, que utilizan como combustible una mezcla del 15% de diesel y 85% de combustóleo.

2.5 Plantas de generación de energía utilizando como combustible (gas natural) (Turbogás).

La generación de energía eléctrica en las unidades turbogás se logra aprovechando directamente, en los alabes de la turbina, la energía cinética que resulta de la expansión de aire y gases de combustión, comprimidos. La turbina está acoplada al rotor del generador dando lugar a la producción de energía eléctrica. Los gases de la combustión, después de trabajar en la turbina, se descargan directamente a la atmósfera.



Cap.2 Fig.5 Diagrama de una Central Termoeléctrica Tipo Turbogás (fuente: CFE, 2009)



Capítulo 2

Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía no Renovable



Las centrales térmicas tipo turbogás tienen como característica, que toman aire fresco directamente de la atmósfera, a través de un filtro, este aire es comprimido y llevado a la cámara de combustión donde se mezcla con el combustible. Este tipo de plantas térmicas emplean como combustible gas natural o diesel y en los modelos avanzados se puede quemar combustóleo o petróleo crudo.

El combustible es inyectado al pasar el aire por las toberas, llegando hasta la caldera es quemado, obteniendo como resultado de la combustión, gas a elevada temperatura, que al expandirse produce el giro de una turbina, este movimiento es transmitido a un generador donde finalmente se produce electricidad, los gases resultado de la combustión después de ser utilizados son descargados directamente a la atmósfera.

Una de las ventajas de las centrales tipo turbogás se encuentra en el poco tiempo que requiere para entrar en funcionamiento, abasteciendo rápidamente la demanda de carga eléctrica en horas pico, aunque no solamente son fuentes de generación de energía auxiliar, también existen modelos de tecnología avanzada diseñados para abastecer la demanda de carga eléctrica en forma permanente.

Una de las centrales térmicas tipo turbogás instaladas actualmente por la Comisión Federal de Electricidad en México es la central gasoeléctrica de Hermosillo Sonora, que tiene una potencia de generación de 150 MW y cuenta con una unidad turbogás de ciclo de aire abierto, consume como combustible gas natural importado por PEMEX de Estados Unidos, conducido a través de un gasoducto desde la frontera de Sonora, Arizona.

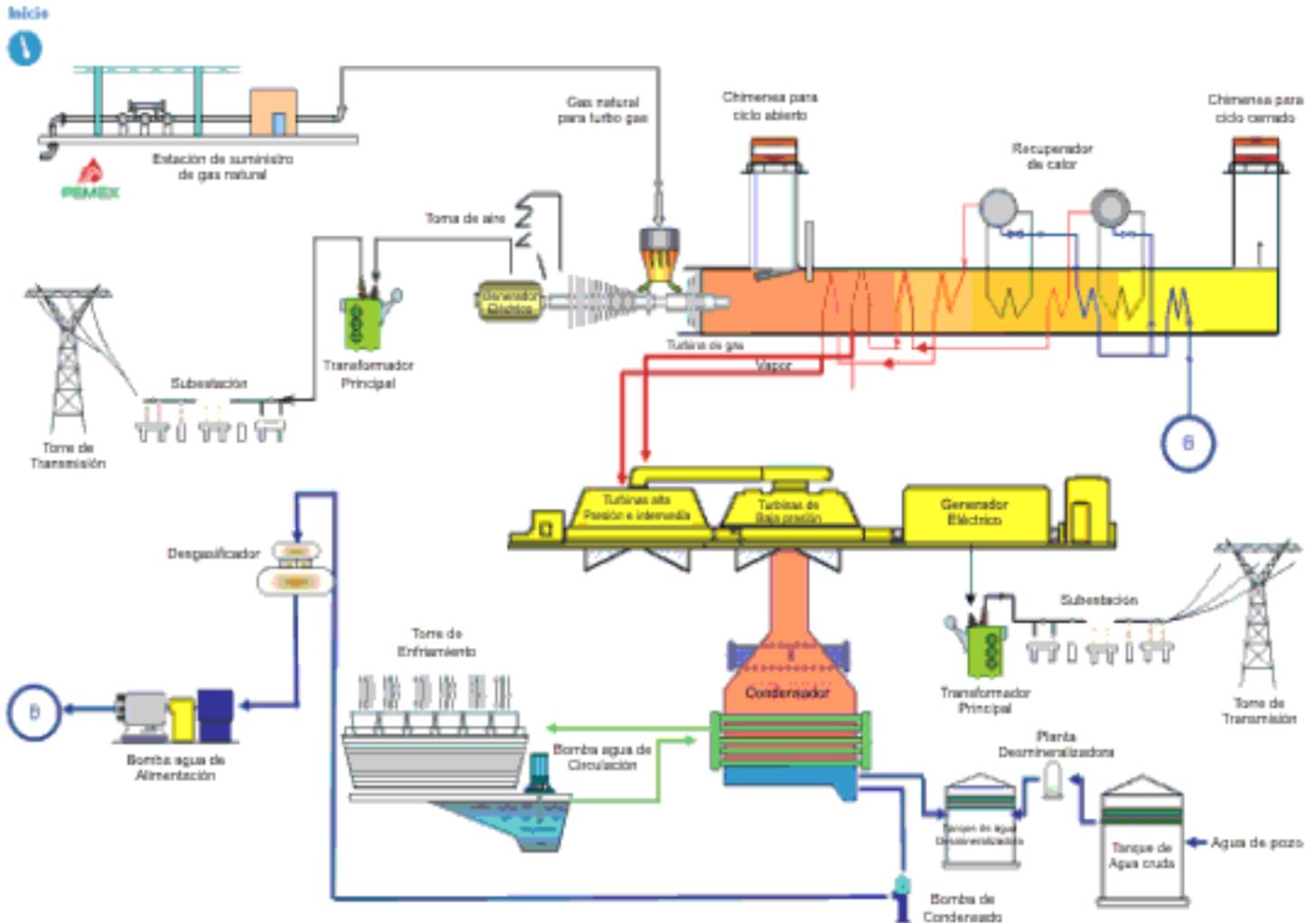
2.6 Plantas de generación de energía eléctrica mediante ciclo combinado utilizando dos tipos de unidades generadoras (turbogás y vapor).

Las centrales de generación de energía eléctrica de ciclo combinado se integran por dos tipos de unidades de generación: turbogás (gasoeléctricas) y vapor (termoeléctricas).

El proceso de generación de energía comienza aspirando el aire desde el medio ambiente exterior, que siendo conducido a través de un filtro llega al compresor de la turbina de gas, este aire es comprimido y mezclado con gas natural por medio de una cámara especialmente diseñada para realizar la combustión, dando como resultado después de la combustión, la expansión un flujo de gases a elevada presión y temperatura que transmiten su energía al entrar en la turbina de gas impulsando su movimiento, el generador acoplado a la turbina de gas, transforma el movimiento transmitido en energía eléctrica.



Capítulo 2 Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía no Renovable



Cap.2 Fig.6 Diagrama de una planta de Ciclo combinado (fuente: CFE, 2009)

Una vez que concluye la generación de energía en las unidades turbogás, los gases a elevada presión y temperatura que salen de la turbina no son desechados sino que se reutilizan debido a que aun conservan una elevada energía térmica con temperaturas de hasta 640°C en turbinas de gran capacidad, esta energía es conducida a un recuperador de calor, que es un intercambiador de calor donde el gas a elevada temperatura y presión, cede su calor a un circuito de agua que aumenta su temperatura hasta convertirse en vapor, este vapor es aprovechado al ser dirigido a una turbina que acoplada a un generador, convierte finalmente el movimiento transmitido por la turbina en energía eléctrica adicional.



Capítulo 2

Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía no Renovable



Las plantas de generación eléctrica con elevada temperatura de combustión en las turbinas de gas y posteriormente con recuperador de calor, aumentan en gran medida su eficiencia. Esto significa que consumen poco combustible, generan mucha energía eléctrica y tienen pocas pérdidas, permitiendo el máximo aprovechamiento del combustible utilizado.

Las plantas de ciclo combinado se pueden esquematizar de diversas formas de acuerdo con la proporción del número de unidades turbogás con respecto al número de unidades de vapor, esta proporción varía en relación 1:1 (una unidad turbogás por una unidad de vapor) hasta 4:1 (cuatro unidades turbogás por una unidad de vapor), en donde la potencia general entregada tiene una proporción de dos tercios de gas por un tercio de vapor.

El diseño de la fase de vapor tiene tres configuraciones básicas:

1. recuperador de calor sin combustible adicional.
2. recuperador de calor con combustible adicional.
3. generador de vapor convencional.

Una de las ventajas de las plantas de ciclo combinado es la posibilidad de construirlas en dos etapas, la primera etapa corresponde a la construcción de las unidades turbogás, esta primera etapa puede ser terminada en un breve plazo, iniciando inmediatamente su operación al mismo tiempo que se continúa con la construcción de la unidad de vapor como fuente de generación adicional que al ser terminada forma en su conjunto la planta de ciclo combinado. Las centrales de ciclo combinado son elegidas en la actualidad debido a sus bajos costos de inversión, su competitivo campo de generación, cortos tiempos de construcción elevada eficiencia y daños ambientales menores.

La Comisión Federal de Electricidad adquiere experiencia en la generación de energía eléctrica mediante la planta de ciclo combinado de Huinalá, ubicada en la localidad de Pesquería, Nuevo León cuenta con 8 unidades generadoras para una capacidad total instalada de 1,047.46 MW.

Estas unidades están conformadas de la siguiente forma:

- El primer grupo está conformado por la construcción de 5 unidades con una potencia de generación total de 377.66 MW (4 unidades turbogás (62.34 MW cada una) y 1 unidad de vapor de 128.3 MW). La sexta unidad construida es una unidad turbogás que opera un solo ciclo de generación, tiene una potencia instalada de 150 MW.
- El segundo grupo está conformado por dos unidades de ciclo combinado (225 MW cada una) con una potencia de generación total de 450 MW, las dos unidades utilizan una tecnología de generación muy avanzada de forma que maximizan su eficiencia, se caracteriza por tener en un mismo eje acopladas una turbina de gas y una turbina de vapor en cada extremo, al centro se encuentra un generador que recibe la energía transmitida por las dos turbinas a un mismo eje.

La energía que se genera por la central de ciclo combinado es enviada a la subestación Huinalá las líneas transmiten una energía de 115, 230 KV y 400 KV, que se distribuyen a las líneas: Gómez Plaza, Villa de García y Tecnológico.



2.7 Plantas de generación de energía eléctrica utilizando dos tipos de fuentes generadoras (combustóleo y carbón).(Plantas Duales)

Las centrales duales tienen como principio de funcionamiento la capacidad de utilizar dos tipos de fuentes de energía, combustóleo o carbón, dando a este tipo de centrales su principal característica.

La Comisión Federal de Electricidad tiene experiencia en este tipo de plantas con la construcción de la central Plutarco Elías Calles (Petacalco), en Guerrero, que cuenta con seis unidades generadoras, actualmente se encuentran en operación con una potencia total instalada de 2,100 MW (350 MW cada una).

La central dual (Petacalco) tiene a su disposición un puerto de descarga de combustóleo y un área de almacenamiento de carbón con una capacidad de 1, 920,000 toneladas.

El combustóleo es almacenado en 4 tanques especialmente diseñados con una capacidad de 34,600 m³ cada uno, utiliza como combustible principal carbón natural importado, también utiliza combustóleo pesado y diesel para el arranque como combustibles alternos.

2.8 Plantas de generación de energía eléctrica utilizando como combustible, material nuclear, (Nucleoeléctricas).

Las centrales nucleoelectricas básicamente son plantas termoeléctricas donde la fuente de energía es el material nuclear que produce calor dentro de un reactor, recipiente en forma de cilindro donde se produce el vapor que es enviado a una turbina que impulsa un generador produciendo electricidad.

El calor se produce por la fisión (rompimiento de los núcleos de los átomos de Uranio 235 o Plutonio 239 – material nuclear utilizado como combustible, resultado del choque de un neutrón a baja velocidad 2Km/s. generando además otros tres neutrones libres que pueden romper nuevos núcleos, cada neutrón libre sale de un núcleo fragmentado, a una velocidad de 20,000Km/seg., y una energía muy elevada, siendo necesario disminuir su velocidad, para efectuar lo que se conoce como reacción en cadena, mediante una serie de colisiones elásticas, con núcleos de átomos ligeros como son hidrogeno, deuterio o carbono, (material moderador).



Capítulo 2

Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía no Renovable



El control de la generación energía se logra absorbiendo los neutrones libres mediante las barras de control compuestas por material que contiene cadmio o carburo de boro, mismo que tiene la propiedad de capturar neutrones, obteniéndose de esta forma una producción controlada y continua de energía.

La fisión del U_{235} libera una cantidad muy grande de energía, la energía eléctrica producida por 1 gramo de U_{235} es aproximadamente de 18.7 MWh

El reactor nuclear se encuentra dentro del edificio de contención, instalación de gruesas paredes de concreto que protegen el ambiente exterior de la radiación y es capaz de soportar internamente elevadas presiones.

Aunque existen actualmente varios tipos de reactores se pueden clasificar de acuerdo al tipo de combustible que consumen en:

- reactores de uranio natural: Este tipo de reactores utilizan uranio natural como combustible y agua pesada (Deuterio) como moderador.
- reactores de uranio enriquecido: Utilizan uranio enriquecido como combustible incrementando la concentración de isótopos U_{235} de 3 a 5 %. Esto se logra en plantas de enriquecimiento.

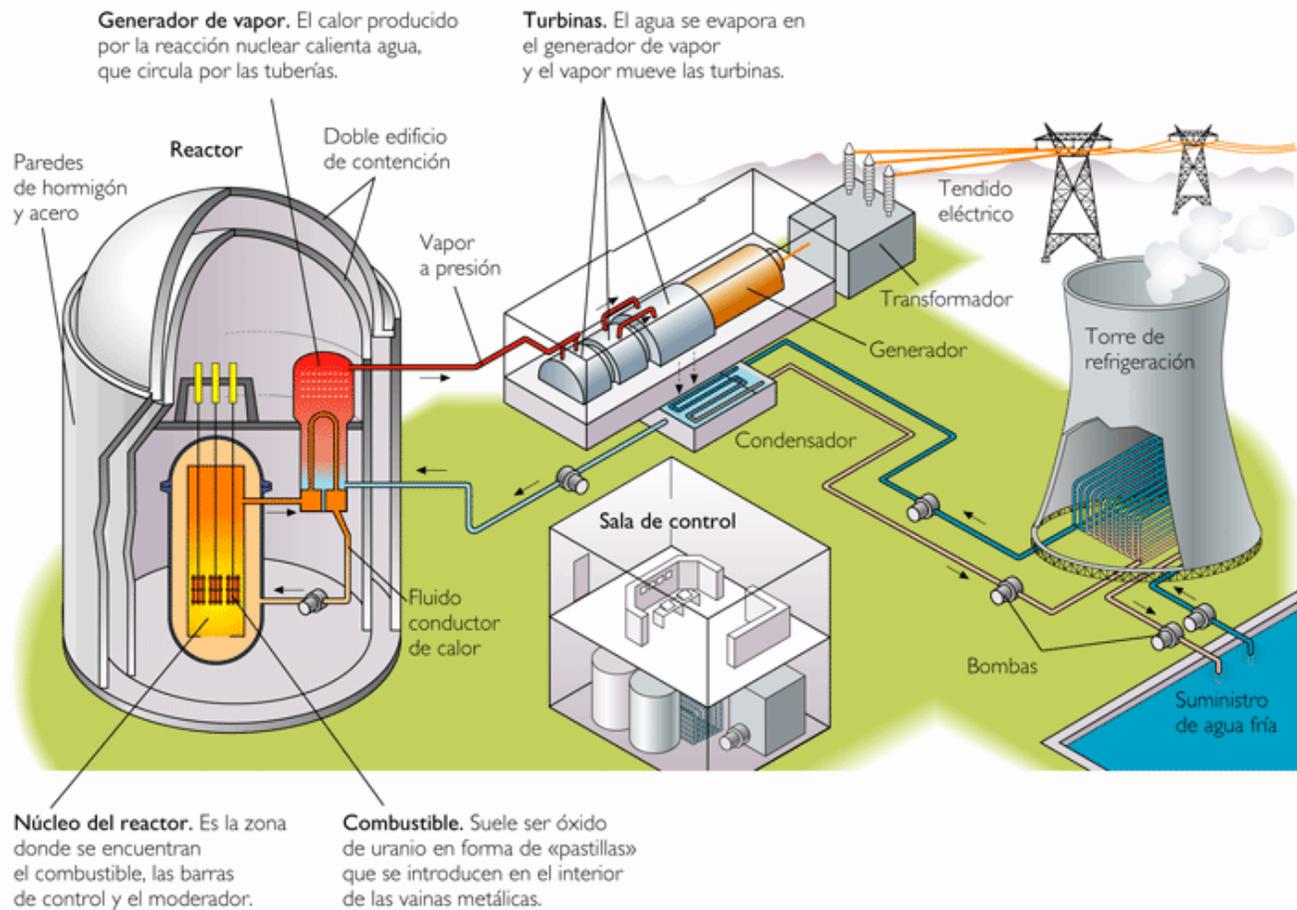
Los reactores de uranio enriquecido más empleados son de dos tipos:

BWR (Boiling Water Reactor) (Reactor de Agua en Ebullición). Utiliza agua ligera que cumple dos funciones, como refrigerante y moderador, el vapor es generado dentro del mismo reactor por lo que no necesita generadores de vapor, circulando a elevada temperatura en un primer circuito cerrado de agua pasando directamente a las turbinas de alta y baja presión que impulsan a los generadores produciendo electricidad, el vapor utilizado es condensado para su reutilización mediante un segundo circuito de agua abierto al océano, mediante una serie de bombas el agua condensada del primer circuito cerrado es reincorporada al núcleo del reactor.

PWR (Pressurized Water Reactor) (Reactor de Agua a Presión). Usa agua ligera como moderador y como fluido refrigerante que transporta el calor del reactor mediante un primer circuito cerrado de agua a elevada temperatura, que no se evapora debido a la elevada presión dentro del reactor transmitiendo la energía térmica a los generadores de vapor ubicados en un segundo circuito de agua pasando directamente a las turbinas de alta y baja presión que impulsan a los generadores produciendo electricidad.



Capítulo 2 Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía no Renovable



Cap.2 Fig.7 Diagrama de una central Nucleoeléctrica Tipo (Reactor de Agua a Presión - PWR)
(fuente: Autor, 2009)

La Comisión Federal de Electricidad incursionó en la generación de energía nuclear con la construcción y operación de la Central Nucleoeléctrica Laguna Verde, misma que se encuentra ubicada sobre la costa del Golfo de México, Estado de Veracruz. Cuenta con 2 reactores de agua ligera en ebullición BWR-5 de 682.5 MW eléctricos cada uno.

La Unidad 1: se empezó a construir en Octubre del 76, inició su operación comercial 14 años después en junio del 90.

La Unidad 2: se empezó a construir en junio del 77 iniciando su operación comercial 18 años después en abril de 1995.

La central nucleoelectrica cuenta con las más estrictas normas de seguridad y calidad gracias a esto la central Laguna Verde obtuvo la certificación a la calidad ISO-9001 en septiembre del 97, además de la medalla estatal a la garantía de calidad en abril del 98 y la certificación a la calidad ISO 14001 en enero del 99. (fuente: CFE, 2008).



Capítulo 2

Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía no Renovable



El uso de la energía nuclear como fuente de generación de energía eléctrica es reciente en México con menos de dos décadas de experiencia en producción de electricidad, aun así se refleja esta experiencia en el incremento de producción de electricidad en los últimos años, haciendo un balance de producción, la unidad 1 genera anualmente 4,198 GW/h en tanto que la segunda unidad genera 4,313 GW/h.

Las dos unidades generadoras requieren de cierto tiempo aproximadamente de 1 a 2 meses para mantenimiento y recarga de combustible, debido a que actualmente las unidades son capaces de consumir mayor cantidad de combustible los periodos de operación de los reactores son mayores, lo que ayuda a disminuir la frecuencia de recargas del reactor.

En base al desempeño seguro y eficiente mostrado por la Nucleoeléctrica Laguna verde y en base a la experiencia obtenida en el uso de la energía nuclear además del beneficio que ofrece no utilizar combustibles fósiles se puede pensar en la construcción de otra central.

En febrero del 2007 la Comisión Federal de Electricidad firmó los contratos con las empresas Productoras Independientes de Energía ó (Productores Externos de Energía) Iberdrola y Alstom de España para repotenciar la Central Laguna Verde agregando nuevas turbinas y generadores con un costo de \$605 millones de dólares, para producir 20% más de generación de energía que equivale aproximadamente a 280 MW por cada unidad repotenciada, proyecto que cuenta con la aprobación de la CNSNS, (organismo regulador nuclear mexicano – Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias).



Capítulo 3.

3 Generación de energía eléctrica mediante Energía Renovable

Introducción.

En este capítulo se describen las centrales que utilizan como combustibles recursos naturales que pueden ser reestablecidos generando lo que se conoce como desarrollo sustentable, además de este factor también se considera cuáles son las características de las principales tecnologías empleadas en la producción de energía eléctrica, empleando para esto distintos tipos de máquinas rotativas que generan energía eléctrica mediante diferentes medios.

El uso de los recursos energéticos renovables y no renovables en México se concentra en la explotación del petróleo y sus derivados, siendo la base de la economía para todos los mexicanos.

A partir de la venta del petróleo recurso natural no renovable, es de donde proviene el mayor ingreso económico en este país, dependiendo también de este recurso el sector eléctrico debido a que la mayor parte de la demanda de energía eléctrica se cubre utilizando como fuente de generación, hidrocarburos como son: gas natural, diesel y combustóleo.

En la actualidad el consumo energético de combustibles fósiles es insostenible la principal razón es porque los yacimientos de petróleo se están agotando aunque la única y principal razón deberían ser los graves cambios climáticos a nivel mundial debido a las emisiones contaminantes causadas por la combustión de los combustibles fósiles que ponen en riesgo los ecosistemas y la vida en el planeta.

En todo el mundo se realizan acciones encausadas al mayor aprovechamiento de los recursos naturales renovables ante la preocupación provocada por el cambio climático causado por la excesiva producción de dióxido de carbono CO₂ principal tipo de contaminación atmosférica que se genera principalmente por la combustión de combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) y derivados del petróleo (combustóleo, gasolina, diesel, etc.).

El calentamiento global trae como consecuencias, el descongelamiento de los polos, inundaciones, desertificación, aumento del nivel de los océanos, cambio radical de los ecosistemas, crisis en la producción de alimentos por la alteración de los patrones climáticos, millones de refugiados ambientales por las situaciones económicas en muchas regiones y sus consecuentes crisis sociales, la capacidad de suministrar agua potable se vera gravemente afectada, enfermedades y escasez a nivel mundial.



Capítulo 3 **Generación de Energía Eléctrica** **Mediante Energía Renovable**



Todas estas consecuencias del calentamiento global afectan directamente el entorno la vida de las especies y su comportamiento.

La temperatura a nivel mundial cambió entre los 0.3°C y 0.6°C desde 1750 hasta finales del siglo XX, de continuar aumentando el volumen de emisiones de CO₂, la temperatura de la Tierra aumentará en promedio 0.2°C en 40 años.

La alternativa ante el cambio climático es cambiar hacia fuentes de energía renovables y nucleares, fuentes de energía limpias que no generan residuos contaminantes que afecten los ecosistemas garantizando el cuidado del medio ambiente al generar energía, logrando lo que se conoce como desarrollo sustentable.

En la actualidad para los inversionistas del sector energético es de mayor importancia obtener altos rendimientos con menor inversión sin pensar en los elevados costos ecológicos en la desaparición de miles de especies de plantas y animales que no son capaces de adaptarse a los cambios climáticos tan adversos.

En la mayoría de los países aun no se aplican medidas de protección ambiental que obliguen al consumo de fuentes naturales de energía renovables debido a que son principalmente no contaminantes al generar escasos residuos de recursos naturales, además de que pueden ser consumidos infinitamente, generando energía eléctrica sin limitaciones, limpia y constante. No se tiene la suficiente visión a futuro ni el compromiso para lograr aprovechar el enorme potencial de generación de energía que ofrecen las fuentes renovables (viento, sol, agua, calor del subsuelo y residuos orgánicos), que se utilizan para generar los diferentes tipos de energía (eólica, solar, hidráulica, geotérmica, biomasa y oceánica) relacionados directamente con cada uno de estos recursos naturales, entre otras fuentes de energía de menor aplicación como es la energía que se puede obtener de biocombustibles como el Etanol y el gas Metano, fuentes de energía obtenidas mediante diversos procesos químicos a partir de residuos orgánicos, además de fuentes de energía que aun se encuentran en proceso de producción a gran escala como es la energía que se puede obtener del hidrogeno en estado gaseoso o liquido utilizado como combustible y la energía obtenida por fusión nuclear aun en etapa experimental que se obtiene de la unión de átomos de hidrogeno.

<u>Fuentes de energía renovables</u>	<u>Recurso natural renovable utilizado</u>
<i>Eólica</i>	<u><i>Viento</i></u>
<i>Solar</i>	<u><i>Sol</i></u>
<i>Hidráulica</i>	<u><i>Agua</i></u>
<i>Geotérmica</i>	<u><i>Calor del Subsuelo</i></u>
<i>Oceánica</i>	<u><i>Olas de Mar</i></u>
<i>Biomasa</i>	<u><i>Residuos Orgánicos</i></u>
<i>Combustibles orgánicos</i> <i>(Etanol y Gas Metano)</i>	<u><i>Residuos orgánicos</i></u>

Cap.3 Tabla 1 Fuentes de energías renovables



Capítulo 3
Generación de Energía Eléctrica
Mediante Energía Renovable



<u>Fuentes de energía de menor aplicación y experimentales</u>	<u>Recurso natural utilizado</u>
Hidrogeno (combustible)	<u>Substancias y Compuestos a base de hidrocarburos, residuos o materia orgánica</u>
Fusión Nuclear	<u>Hidrogeno</u>

Cap. 3 Tabla 2 Fuentes de energía de menor aplicación y experimentales

Todas estas fuentes de generación de energía son factibles si tomamos en cuenta que se tiene al alcance la suficiente tecnología para aprovechar la enorme cantidad de recursos renovables que posee un país como México, sabemos que los costos de implementar la tecnología con la capacidad de lograr el mayor aprovechamiento de los recursos naturales renovables en la actualidad es muy elevado, pero si tomamos en cuenta los beneficios de generar energía limpia y constante, estaremos cada vez más cerca de comprender las bases del desarrollo sustentable.

Los recursos energéticos no renovables utilizados para la generación de energía se están agotando, deberán ser remplazados por fuentes de generación renovables a largo plazo, tomando en cuenta la escasez de combustibles debido a la mayor dificultad de extracción en aguas profundas del golfo de México, además de los cada vez más escasos yacimientos de petróleo en tierra, subiendo considerablemente los precios de todos los derivados del petróleo, como son gas natural, combustóleo diesel gasolina etc. Será necesario utilizar fuentes de generación de energía renovables, que garanticen la conservación de los ecosistemas y la vida sobre la Tierra.

El sector energético en México se encuentra bajo un proceso de reestructuración hacia una elevada eficiencia energética, razón por la cual se impulsa la utilización de energías renovables y la repotenciación de las centrales generadoras existentes mediante la implementación de plantas de ciclo combinado que realizan un reciclado de energía generada. La agricultura con ayuda de la tecnología deberá lograr un mayor desarrollo sustentable, para no tener que enfrentarse con una masiva emigración a los centros urbanos.

El Consejo Mundial de la Energía (CME), analizando la demanda energética a nivel mundial impulsa la implementación de centrales que utilicen como fuentes de generación, energías renovables ayudando en la toma de decisiones para un futuro sustentable.

A continuación analizaremos los principales tipos de centrales de generación de energía eléctrica que utilizan fuentes de energía renovables sus principales principios de diseño y operación, además de las principales centrales de generación instaladas en México, así como la capacidad de generación estimada por tipo de fuente de generación.



3.1 Plantas de generación de energía eléctrica mediante afluentes de agua (Hidroeléctricas).

Las plantas generadoras que transforman la energía que proporciona el agua en movimiento, en energía eléctrica, se conocen como centrales hidroeléctricas.

La energía cinética que poseen las fuentes naturales de agua en movimiento como son los ríos y lagos es aprovechable, la cantidad de energía que contienen las masas de agua depende de dos factores:

- La caída del agua.
- El volumen o peso del agua que se desplaza por segundo.

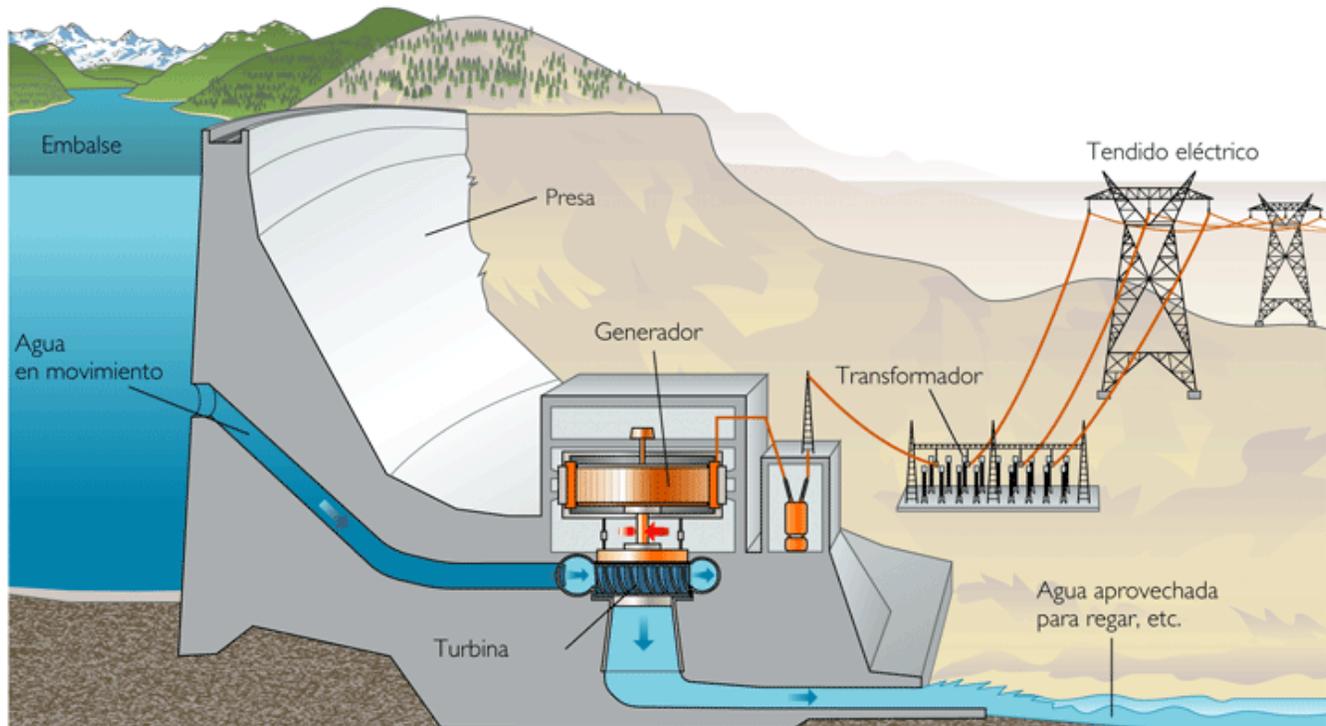
Siendo también importante la técnica utilizada para aprovechar la energía que contiene el agua en movimiento, cada técnica de utilización del agua varía dependiendo de cómo se relacionen los factores que influyen en la cantidad de energía que puede ser obtenida del agua.

Es por esta causa que las plantas hidroeléctricas se construyen en los sitios más adecuados con base en las características técnicas, económicas, sociales y ambientales que garanticen con la construcción y operación de la central, el mayor aprovechamiento de los recursos naturales además del beneficio energético necesario en cada región del país.

La energía que contienen las aguas salvajes es difícilmente aprovechable debido a los residuos que arrastran, arranque de material de las rocas sueltas y los ruidos del torrente, considerados todos estos factores como pérdidas de energía naturales. Es por causa de esto que se crean causas artificiales donde el agua fluye con pérdidas de energía menores, convirtiendo finalmente la energía en potencia disponible en el agua en energía mecánica utilizable, por medio de turbinas o ruedas hidráulicas se logra la captación de estos recursos energéticos que representan la forma más conveniente de obtener energía natural convirtiéndola mediante ciertos mecanismos en energía eléctrica utilizable.



Capítulo 3 Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



Cap.3 Fig 1 Diagrama de una central hidroeléctrica (fuente: Autor, 2009)

Existen en la actualidad una gran cantidad de mecanismos empleados en obtener el mayor aprovechamiento de los torrentes de agua, la energía que contiene el agua puede ser aprovechada principalmente de dos formas:

- Aprovechamiento por derivación.- El agua de ríos y lagos se desvía de su cause natural mediante un canal o túnel creado artificialmente con una ligera pendiente con el fin de hacer circular el agua, al final se instala una cámara que incrementa la presión del agua y es conducida a través de las tuberías de presión hasta las turbinas hidráulicas situadas en el extremo interior donde se convierte la energía cinética del agua en energía mecánica que se transmite a los generadores acoplados a las turbinas los cuales finalmente producen la energía eléctrica que se requiere, después de ser aprovechada el agua se reintegra al cause de ríos o lagos.
- Aprovechamiento por retención.- El agua de ríos y lagos es almacenada en una presa donde se retiene la circulación de agua hasta crear un desnivel mediante una barrera que retiene el avance del agua (carga hidráulica) desde su superficie hasta la base de la cortina de la presa, el agua es conducida mediante la tubería de presión hasta las turbinas ubicadas en la base de la cortina de la presa los generadores acoplados a las turbinas se encargan de transformar el movimiento mecánico en energía eléctrica.



Capítulo 3

Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



Con la finalidad de lograr el mayor aprovechamiento de un mismo cauce de ser posible se instalan a lo largo del río varias centrales hidroeléctricas consecutivamente donde cada una de las centrales recibe el agua de la central superior así como las aportaciones de los torrentes de agua intermedios.

Un ejemplo de este tipo de instalaciones lo tenemos en el río Grijalva, empezando con la central hidroeléctrica Belisario Domínguez conocida más comúnmente como la Angostura, cuenta con una capacidad de generación de 900 MW, después aguas abajo se encuentra la central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres (Chicoasen) que entrega una potencia total de generación de 1500 MW, siendo una de las centrales hidroeléctricas de mayor generación de energía eléctrica, después de esta central encontramos aguas abajo del mismo río Grijalva la central hidroeléctrica de Malpaso, esta presa es de usos múltiples con una capacidad de generación de 1080 MW, por último aguas abajo se encuentra la central hidroeléctrica Peñitas con una potencia de generación de 420 MW

Las plantas hidroeléctricas se pueden clasificar dependiendo principalmente del tipo de abastecimiento de agua, existen básicamente 3 tipos de centrales, éstas son:

a) Plantas hidroeléctricas con abastecimiento de agua corriente

Una central de agua corriente no presenta acumulación visible de agua antes de entrar en las turbinas, en este tipo de centrales las turbinas aceptan el caudal de agua disponible directamente del río, donde el edificio central o casa de máquinas puede o no formar parte de la presa, este tipo de planta requiere de un caudal lo suficientemente constante para asegurar una determinada potencia en todo el año.

b) Plantas hidroeléctricas con abastecimiento de agua mediante vaso de almacenamiento

En las centrales hidroeléctricas con vaso de almacenamiento se logra almacenar un volumen considerable de agua antes de entrar a las turbinas, por medio de la construcción de una o más presas que se encargan de retener el agua formando lagos artificialmente, el vaso de almacenamiento permite el abastecimiento controlado del agua que llega hasta las turbinas.

Existe siempre cierto abastecimiento de reserva para asegurar la producción de electricidad durante todo el año, se prevé con esto la pérdida de energía aun en condiciones de que el río se seque por completo durante algunos meses, algo que se considera imposible en plantas hidroeléctricas con sistema de agua corriente.

Las centrales hidroeléctricas con abastecimiento de reserva exigen en la mayoría de los casos una mayor inversión de capital en comparación con las centrales de agua corriente, aunque su mayor ventaja es que pueden generar energía en el momento en que sea necesario.



Capítulo 3

Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



c) Plantas hidroeléctricas con abastecimiento de agua mediante bombeo

Las plantas hidroeléctricas con abastecimiento mediante bombeo, tienen a su disposición, doble vaso de almacenamiento ubicados en dos niveles, cuando la demanda de energía llega a su punto máximo del día, las centrales de bombeo realizan la función de generación al dejar caer del vaso de almacenamiento superior el agua que hace girar a las turbinas acopladas al generador que genera la carga eléctrica que se requiere, después de pasar por las turbinas el agua queda almacenada en el vaso de almacenamiento inferior. Durante las horas del día en que la demanda de carga eléctrica es mínima, el agua se bombea, mediante grupos de motores-bomba, de regreso al vaso de almacenamiento superior, donde puede realizar nuevamente el proceso de generación de energía, de forma alternativa existen turbinas reversibles que pueden funcionar como bombas de agua y los generadores pueden cumplir una doble función convirtiéndose en motores que impulsen el agua hasta las bombas.

d) Plantas hidroeléctricas de menor generación (Minihidráulicas)

Los caudales que forman riachuelos y cascadas en las montañas pueden aprovecharse para impulsar turbinas y generar energía eléctrica. La Organización Latinoamericana de Energía clasifica las centrales generadoras, según su tamaño, en: microcentrales hasta un límite de 50 KW, minicentrales de 50 a 500 KW y pequeñas centrales hidroeléctricas de 500 a 5,000 KW.

El potencial hidroeléctrico total nacional se estima en 53,000 MW, del cual se tienen identificados 541 sitios con un potencial de 19,600 MW. Según los datos proporcionados por la CFE el potencial hidroeléctrico aprovechado actualmente para generación de electricidad asciende a los 11,054.90 MW en 77 centrales con una generación anual de poco más de 20,000 GWh al año.

El potencial estimado para centrales con capacidades instaladas menores a los 10 MW se sitúa en los 3,250 MW. Actualmente se han instalado 34 centrales dentro de este rango de capacidad, en los que se ha instalado una capacidad total de 109 MW, generándose anualmente 479 GWh. Una tarea importante que se deberá cumplir en breve, a fin de promover el aprovechamiento de estos recursos, es el estudio de la factibilidad técnica y económica de desarrollar proyectos en los distintos sitios identificados.

Existen recursos hidrológicos de “baja potencia” donde es factible la instalación de sistemas “Microhidroeléctricos”



Capítulo 3
Generación de Energía Eléctrica
Mediante Energía Renovable



Distribución del recurso hidroeléctrico en México

Se cuenta con potencial hidrológico de al menos 280,000 millones de metros cúbicos al año. Solo entre los ríos Grijalva, Balsas, Santiago e Ixtapantongo se tiene el 89.7% de la potencia hidroeléctrica total instalada.

Río	Potencia Hidroeléctrica total
Grijalva	52.30 %
Balsas-Santiago	20.60 %
Ixtapantongo	16.30 %
Papaloapan	6.40 %
Yaqui-Mayo	4.40 %

Cap.3 Tabla 3 Recurso hidroeléctrico en México

Puede explotarse aún 15,000 MW y obtener 140,000 GWh/año.

Cuenca	% del total de energía hidroeléctrica
Grijalva-Usumacinta	30 %
Balsas	12 %
Papaloapan	7 %

Cap.3 Tabla 4 Porcentaje de Recurso hidroeléctrico en México

México cuenta con 217 plantas hidroeléctricas instaladas, siendo 64 Centrales Hidroeléctricas de mayor generación de energía, de las cuales 20 son de gran importancia y 44 son centrales pequeñas las demás centrales hidroeléctricas son de tipo minihidráulico, generando una potencia total de 11,054.90 MW que proporcionan al Sector Eléctrico Nacional el 22.14% de la energía total generada.

3.2 Plantas de generación de energía eléctrica utilizando como fuente de generación la energía del subsuelo (geotérmicas).

Las plantas de generación de energía eléctrica que utilizan como fuente de energía natural el calor generado en el interior de la tierra se conocen como centrales geotérmicas.

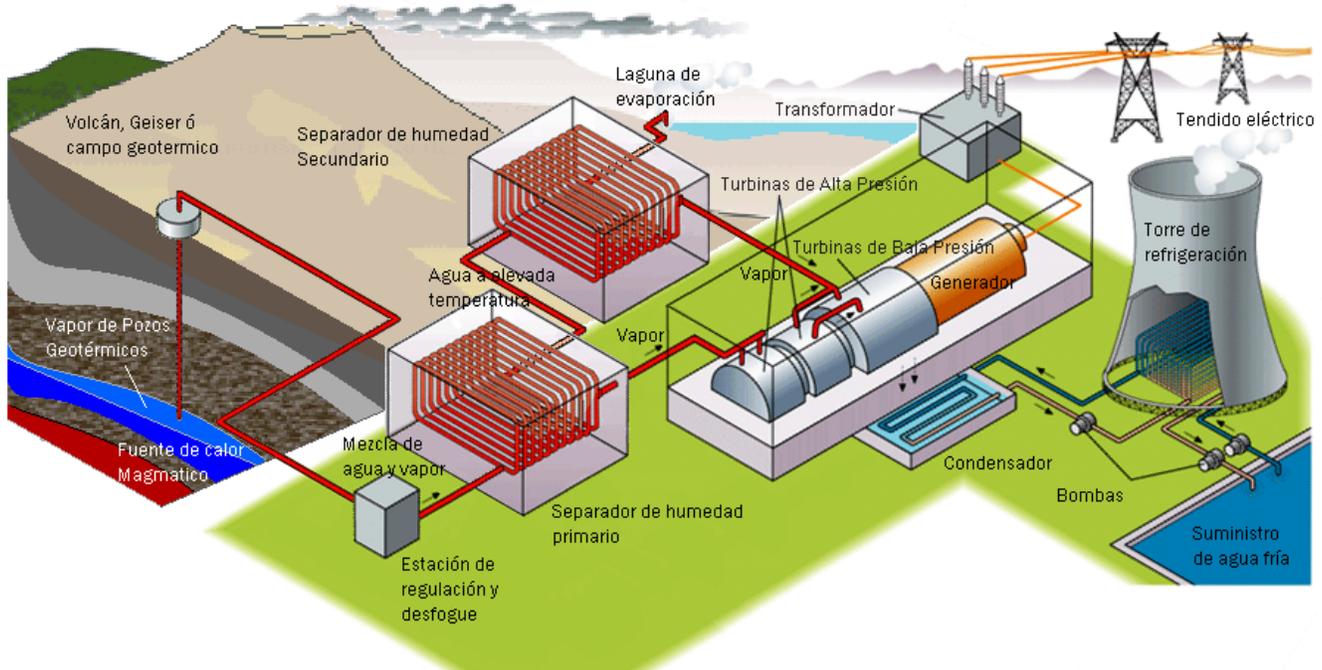
El incremento de temperatura que generan las fuentes naturales de calor magmático como son los géiser y volcanes, se obtiene a partir del magma que fluye a través de las fisuras que existen en el interior de la tierra alcanzando algunas veces la superficie, donde, si existen las condiciones geológicas favorables para su acumulación, se mantiene y se transmite a los mantos acuíferos del subsuelo zonas de roca permeable con una capa sello, donde el líquido se encuentra contenido, impidiendo que los fluidos calientes se disipen totalmente en la superficie, a lo que se conoce con el nombre de yacimiento, Los yacimientos geotérmicos están formados por una fuente de calor magmático un manto acuífero y una capa sello, se asocian principalmente a fenómenos sismológicos y volcánicos, tienen su origen en los movimientos de las placas tectónicas en las que se divide la superficie de la tierra, estos yacimientos pueden ser utilizados para producir energía eléctrica, sólo se requieren los mecanismos adecuados para captar la energía térmica.



Capítulo 3 Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



Una vez encontrados los yacimientos se perforan los pozos hasta aguas subterráneas, que poseen una gran cantidad de energía térmica almacenada, se extraen a la superficie, la mezcla agua-vapor que se obtiene del pozo se envía a un separador de humedad; para obtener vapor seco, el líquido es regresado al subsuelo y el vapor es llevado a la casa de máquinas, donde transmite su energía a las turbinas, convirtiendo la energía cinética del fluido en energía mecánica, las turbinas transfieren la energía mecánica a los generadores produciéndose finalmente electricidad, después de ser utilizado el vapor se convierte nuevamente en líquido mediante un condensador, este líquido que aún conserva elevada presión y temperatura es llevado a la torre de enfriamiento y es enfriado mediante grandes ventiladores, este líquido enfriado a su vez se utiliza en el condensador, para rociar el vapor que proviene de la turbina.



Cap.3 Fig.2 Diagrama de una Central Geotermoelectrica (fuente: Autor, 2009)

Existen varios tipos de unidades geotermicas, se pueden clasificar de acuerdo con su capacidad de generación, como son las unidades de 5 MW donde el vapor después de ser utilizado es liberado directamente a la atmósfera, en las unidades con mayor generación de energía, como son las de 20, 37.5 y 110 MW, el vapor utilizado se condensa; el agua condensada, junto con la que proviene del separador de humedad, se reinyecta al subsuelo o se descarga a una laguna de evaporación. La generación de energía es una de las mejores características de las plantas geotermicas debido a que tienen como principal ventaja que su producción de electricidad, permanece constante en cualquier época del año a diferencia de las plantas hidroelectricas que su producción varía dependiendo de la cantidad de agua almacenada en la presa y de los factores climáticos existentes.



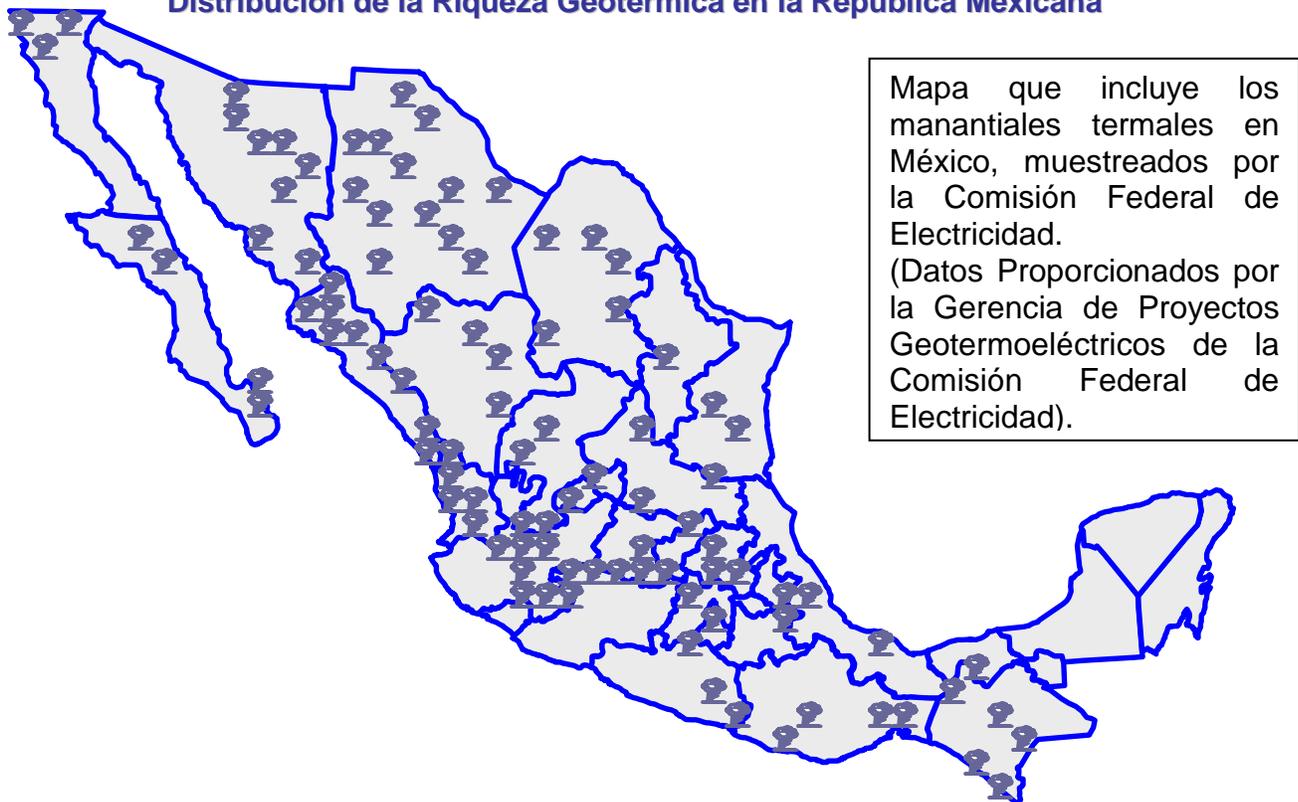
Capítulo 3 Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



Otra de las principales características son los costos de construcción de las plantas geotérmicas, que son cerca de la mitad de lo que cuesta construir las plantas termoeléctricas convencionales más eficientes, esto es debido a que se utiliza energía natural generada en el interior de la superficie de la tierra.

La mayor parte del territorio mexicano (excepto la Península de Yucatán) está caracterizado por una gran actividad tectónica y volcánica que ha tenido lugar desde hace varias decenas de millones de años hasta el presente. Esta actividad ha dejado su huella a lo largo de todo el país en forma de sistemas volcánicos y sistemas hidrotermales, tanto fósiles como activos. La presencia de estos recursos se extiende por todo el país, siendo especialmente abundante en su parte central.

Distribución de la Riqueza Geotérmica en la Republica Mexicana



Cap.3 Mapa 1 riqueza geotérmica en México

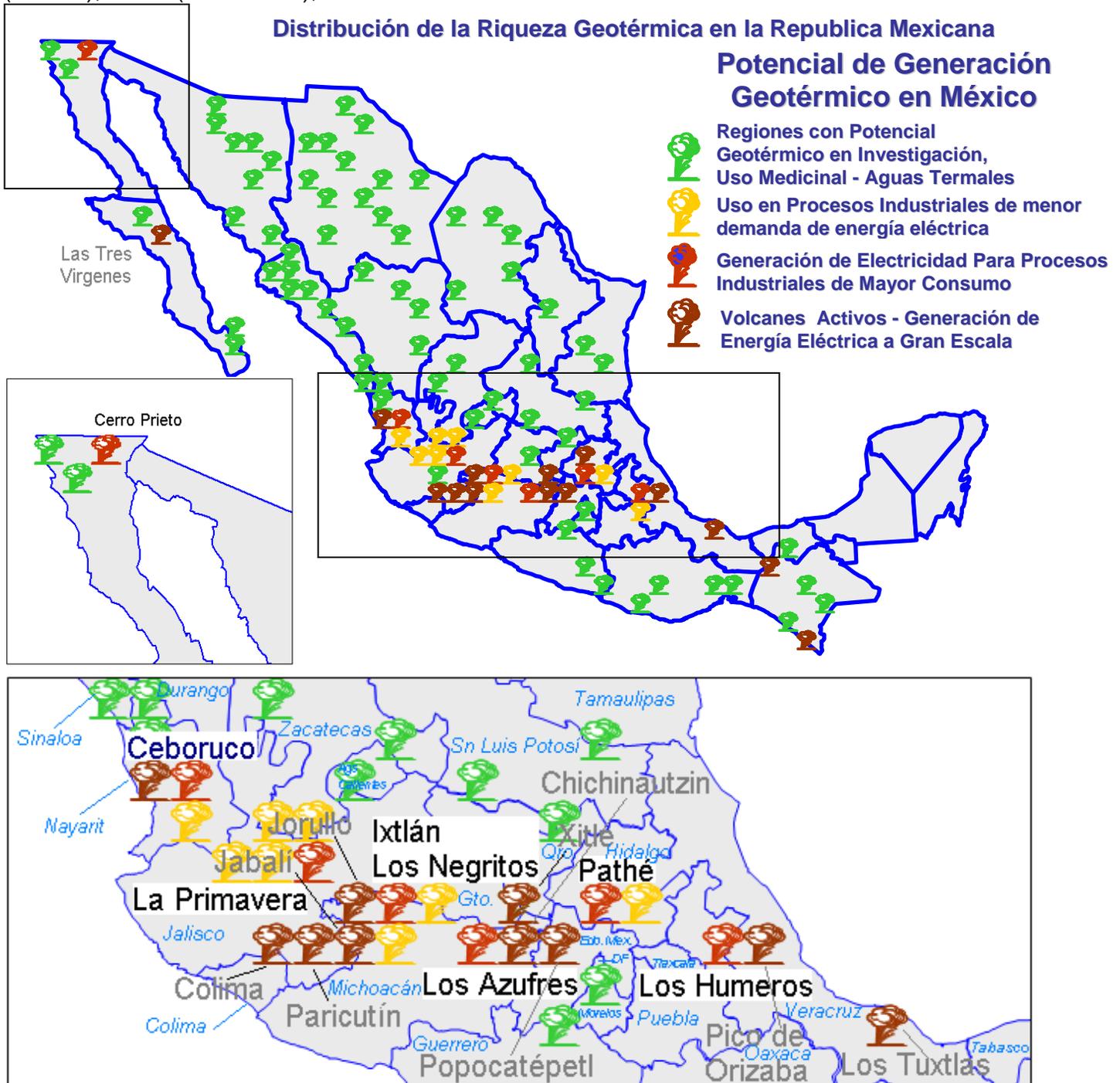
Hasta la fecha, la Comisión Federal de Electricidad ha establecido la existencia de más de mil manifestaciones termales en la República Mexicana, de las cuales sólo una minoría corresponde a sistemas capaces de generar energía eléctrica comercialmente. Dos campos, el de Cerro Prieto de 720 MW que se reparten en 13 unidades generadoras y el de Los Azufres en Michoacán de 195 MW repartidos en 15 unidades generadoras, se encuentran en producción de energía eléctrica desde hace tiempo y por lo menos dos más: Los Humeros (Puebla) de 40 MW repartidos en 8 unidades y Las Tres Vírgenes (Baja California Sur) de 10 MW que se reparte en 2 unidades, se encuentran recientemente en producción de electricidad a partir de fluidos geotérmicos.



Capítulo 3 Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



Asimismo, se cuenta con 27 campos donde se han concluido los estudios de factibilidad, de los cuales se han seleccionado 16 para continuar con la etapa de perforación de pozos de exploración, entre éstos se tienen: La Primavera (Jalisco), El Ceboruco (Nayarit), Las Planillas (Jalisco), Araró (Michoacán), etcétera.



Cap.3 Mapa 2 Localización de los principales campos geotérmicos en México.



Capítulo 3

Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



El campo geotérmico de Cerro Prieto es uno de los más grandes del mundo y hasta el momento tiene una capacidad instalada para producir 720 MW de potencia eléctrica; pero el campo tiene capacidad para generar mucha más potencia y se ha planeado aumentar su producción en los próximos años, ya que se cuenta con reservas probadas de 720 MW y reservas probables de más de 840 MW. Debido a que la zona en que se encuentra localizado este campo no tiene un alto consumo de energía eléctrica por ser una zona eminentemente agrícola, existe un excedente de energía eléctrica, el cual es exportado a Estados Unidos, lo cual significa una entrada de divisas para el país. Además de la generación de electricidad, en la planta geotermoeléctrica de Cerro Prieto se planea instalar también un sistema para la extracción y comercialización de cloruro de potasio, por el cual se llegarán a producir 80 ,000 toneladas métricas por año.

Por otra parte, el campo geotérmico de Los Azufres produce 195 MW que se reparten en 15 unidades, donde 25 MW, corresponden casi al consumo de energía eléctrica de la ciudad de Morelia, Michoacán. Aunque después de diversos estudios se determinó que este campo tiene capacidad para producir más energía. Una particularidad de la explotación del campo geotérmico de Los Azufres es que la totalidad del agua separada del vapor que va a las turbinas es reinyectada en el yacimiento a través de once pozos, con lo cual se evita la contaminación del medio ambiente.

Del total de campos ya evaluados se tiene una reserva probable de más de 1 400 MW. Debe admitirse que aun desarrollando la totalidad de los recursos con que cuenta el país, la energía geotérmica no podría cubrir la demanda total de energía eléctrica. Sin embargo, por la abundancia de campos geotérmicos en México, esta fuente de energía sí puede representar una contribución significativa para satisfacer las necesidades energéticas del país, por supuesto, sin pasar por alto su utilización directa en procesos industriales, la cual aún debe implementarse y podría significar un considerable ahorro de combustibles fósiles y una disminución en los niveles de contaminación.

Gracias al avance de la tecnología se han podido superar muchos problemas en la utilización de la energía geotérmica y en la actualidad es posible aprovechar sus recursos en un rango muy amplio de temperaturas, o bien explotarlos "en cascada", lo cual equivale a seguir extrayendo energía de fluidos que han pasado ya por alguna etapa de su uso: por ejemplo los fluidos que son desechados por una estación geotermoeléctrica a una temperatura de más de 100°C, pueden aún ser utilizados para el enlatado de comida, extracción de sales y posteriormente para calefacción, refrigeración, invernaderos, etc., hasta que finalmente, ya a una temperatura menor de 30°C, sean usados en albercas para recreación o en criaderos de peces. De esta forma, se extrae el contenido energético de los fluidos geotérmicos con un máximo de eficiencia.



Capítulo 3

Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



Los usos más extendidos de la energía geotérmica en lo que respecta a cantidad de energía obtenida son: producción de energía eléctrica, calefacción, agricultura, ganadería y balneología, además de la extracción de minerales que no produce energía pero que es una utilidad muy importante de las manifestaciones termales.

La transformación de la energía geotérmica en eléctrica es tal vez su mayor aplicación práctica (casi la tercera parte) y la que atrajo la atención en el nivel mundial hacia este recurso, ya que de las fuentes alternas de energía, es una de las que han demostrado ser económicamente factibles.

La obtención de electricidad a partir de fluidos geotérmicos tiene una eficiencia relativamente baja en comparación con las plantas termoeléctricas convencionales, debido a la baja temperatura de los fluidos geotérmicos (que tienen un máximo de aproximadamente 380°C). Sin embargo, las plantas geotermoeléctricas son económicamente redituables debido al costo tan bajo del calor obtenido (en comparación con los combustibles fósiles), además de las ventajas que tiene en cuanto a un mínimo de contaminación ambiental.

El potencial energético del vapor que alimenta una planta geotermoeléctrica va a depender no sólo de su presión y temperatura, sino también de su calidad (contenido de gases), la presión de expulsión de las turbinas y la configuración general de la planta. Las plantas geotermoeléctricas tienen diferentes esquemas de acuerdo al tipo de fluido que alimente las turbinas y la presión a la que salga de éstas. El fluido que sale del pozo geotérmico es llevado a un separador ciclónico donde el vapor y el agua que originalmente estaban mezclados en el fluido geotérmico son separados y el vapor se hace pasar por turbinas conectadas a generadores que van a transformar la energía cinética del vapor en energía eléctrica. A la salida de las turbinas se tiene usualmente una presión menor que la atmosférica (por ser esta opción más eficiente) por lo que es necesario entonces instalar condensadores para el vapor de desecho, así como extractores para los gases no condensables. También existen turbinas que descargan a presión atmosférica, pero económicamente son menos redituables y por lo general son utilizadas como plantas piloto. Por otra parte, el líquido que sale de los separadores puede ser nuevamente pasado por otros separadores a menor presión, obteniendo así una cantidad mayor de vapor y aumentando la capacidad de la planta.

Tanto el agua que expulsan los separadores, como el condensado deben ser desechados. En algunos casos se les arroja al torrente de ríos o al mar, o bien a lagunas de evaporación (Cerro Prieto, México); pero actualmente se ha demostrado que es más provechoso reinyectarlos, lo cual además de evitar problemas de contaminación (química y térmica) de ríos y mares, ha probado ser benéfico para los yacimientos, ya que ayuda a disminuir el descenso de la presión y si se combina con la estructura hidrogeológica del campo, es posible evitar la entrada directa al yacimiento de aguas subterráneas frías, como se ha observado en Cerro Prieto.



Capítulo 3

Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



Actualmente la producción de electricidad con energía geotérmica es aún baja con respecto al total de energía producida en el ámbito mundial. Una de las principales restricciones es la localización de sistemas geotérmicos, ya que relativamente muy pocos países cuentan con este recurso. Como ejemplo de países con un potencial geotérmico importante para la producción de energía eléctrica tenemos a Japón, Filipinas, Indonesia, Italia, Islandia, Estados Unidos, México, El Salvador, Nicaragua y Nueva Zelanda.

La comisión federal de electricidad incursionó en el campo de la generación geotérmica desde 1959 con la construcción de la planta experimental Pathé en Hidalgo, la primera planta geotermoeléctrica en el continente americano, Desafortunadamente, la falta de permeabilidad del campo determinó que el experimento terminara en un fracaso a pesar de que se tenía un gradiente geotérmico en el área de aproximadamente 550°C / km. De los 3.5 MW instalados sólo se pudieron producir 0.15 MW, por lo cual se clausuró la planta.

También se llevaron a cabo intentos por desarrollar las zonas geotérmicas de Los Negritos e Ixtlán de los Hervores en Michoacán. Sin embargo, el éxito se alcanzó finalmente cuando se descubrió el campo geotérmico de Cerro Prieto en Baja California Norte.

La mayor planta de generación de energía geotérmica en México, segunda más grande del mundo, es Cerro Prieto, al sur de Mexicali, Baja California Norte, con una capacidad total de generación instalada de 720 MW que se reparten en 13 unidades de generación, 4 de 110 MW, 4 de 37.5 MW, 1 de 30 MW y 4 de 25 MW. Produce el 49.52% de la electricidad que se distribuye en la red de Baja California, que es un sistema aislado del Sistema Eléctrico Nacional. Desde entonces se ha desarrollado la técnica de exploración, perforación, diseño y construcción de pozos, utilizados en las modernas plantas geotérmicas.

En México existen en operación, 38 unidades geotermoeléctricas con una potencia total instalada de 965 megawatts (MW), que suministran al Sector Eléctrico Nacional 3.24% de la capacidad de generación instalada hasta el mes de Marzo 2009.

3.3 Plantas de generación de energía eléctrica, utilizando como fuente de generación la energía del viento (Plantas Eólicas).

Las plantas de generación de energía eléctrica que utilizan como fuente de generación, la energía que proporciona el viento, se conocen como centrales eólicas.

Una central eólica es una instalación en donde la energía que proporciona el viento puede ser transformada en energía eléctrica esto se logra construyendo una torre de soporte sobre la cual, se instala lo más elevado posible un rotor que cuenta con varias hélices que se orientan en la dirección del viento (aerogenerador).

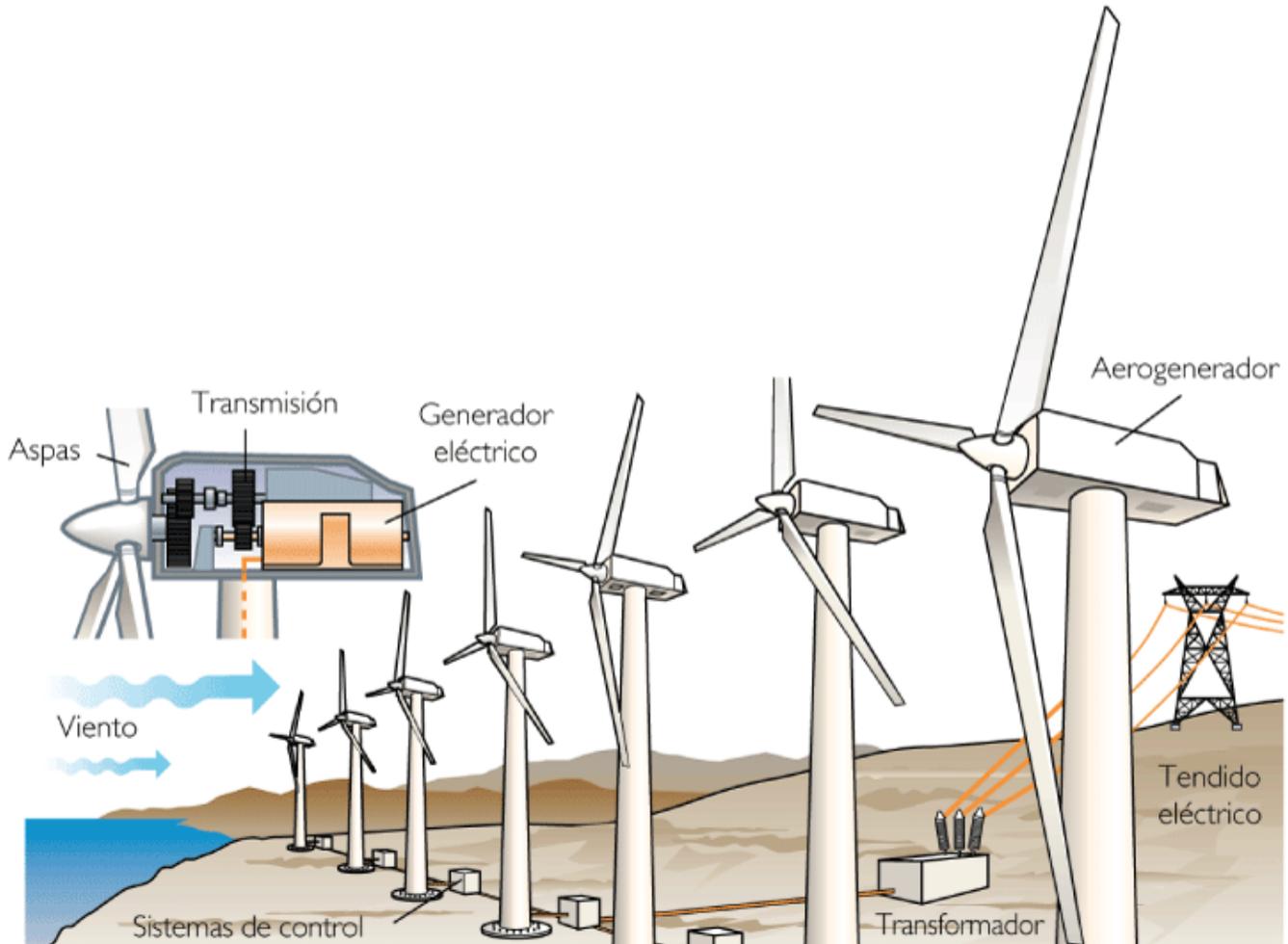
Las hélices reciben el impulso proporcionado por el viento y giran alrededor de un eje, este movimiento es convertido finalmente en electricidad.



Capítulo 3 Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



La base de la energía eólica consiste en aprovechar el desplazamiento horizontal del viento de flujo cambiante con respecto al tiempo, la cantidad de energía que se produce guarda una proporción al cubo de la velocidad del viento, lo que demuestra lo importante que es captar adecuadamente la velocidad del viento. Cada aerogenerador aprovecha la velocidad del viento entre 5 y 20 m/s, con velocidades menores a los 5 m/s el aerogenerador no funciona y con velocidades mayores a 20 m/s el aerogenerador debe detenerse para evitar daños.



Cap.3 Fig.3 Diagrama de una Central Eólica (fuente: Autor, 2009)

Los motores eólicos de tipo horizontal sólo aprovechan como máximo el 59% de la energía que reciben del viento, el principal factor es la intensidad variable del viento que depende de la zona geográfica además de la variación del viento con respecto al tiempo. La variación de la velocidad del viento es proporcional con la altura a distancias cortas siendo una de las principales características para aprovechar correctamente la energía del viento, es debido a estas características que los aerogeneradores deben ser instalados tan elevado como sea posible o tan alto como lo permitan los costos de las torres de soporte, la altura promedio deberá ser en todo caso mayor a los 30 metros.



Capítulo 3

Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



Existen diversos tipos de aerogeneradores dependiendo de su diseño, con eje vertical o eje horizontal, su diámetro desde 1 metro hasta 100 metros, además de su potencia desde 1 KW hasta varios Mega Watts.

Los aerogeneradores se clasifican principalmente por:

1. La forma en que las hélices reciben la energía del viento:

- Por Arrastre: El viento hace girar las hélices por arrastre, su uso es limitado debido a que la velocidad de las hélices no puede ser mayor que la velocidad del viento.
- Por Sustentación: El viento ejerce una diferencia de presión en las hélices, debido a esto las hélices se pueden mover a mayor velocidad que la del viento.

2. La dirección del eje de rotación respecto al suelo

- De eje horizontal: El eje del rotor coincide con la dirección horizontal del viento que impulsa directamente las hélices que giran formando un plano que debe ser perpendicular a la dirección del viento para recibir la mayor cantidad de energía.
- De eje vertical: el eje del rotor se coloca de forma vertical a la dirección del viento, aceptando la energía del viento de cualquier dirección, el movimiento puede ser transmitido al generador ubicado en el suelo aunque genera menor cantidad de energía.

Las corrientes de viento son consecuencia de la energía del Sol que calienta la tierra desigualmente, dando origen a zonas con diferentes temperaturas que dan lugar a las corrientes atmosféricas en la superficie y en los océanos origina las corrientes marinas, cerca del 0.7% de la energía del sol que recibe la tierra se convierte en energía que origina las corrientes de viento.

Las enormes dimensiones de las aspas de la aeroturbina para alcanzar potencias de generación mayores a 100 KW, constituyen una gran limitante para el desarrollo, construcción e implementación de esta tecnología.

Los aerogeneradores más ampliamente utilizados son del orden de 10 KW, se emplean como suministro eléctrico en zonas agrícolas aisladas, faros y otras instalaciones similares

En la actualidad la energía del viento puede ser aprovechada en algunos lugares del territorio mexicano con elevado potencial eólico, como son La Venta, Oaxaca; La Virgen, Zacatecas; Veracruz, Veracruz; Pachuca, Hidalgo; Santa María Magdalena, Hidalgo; La Rumorosa, Baja California Norte; Cabo Catoche, Quintana Roo, entre otros.



Capítulo 3 Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



Cap.3 Mapa 3 fuente: Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE, 2009)

A partir de los resultados obtenidos por las mediciones del Instituto de Investigaciones Eléctricas que mostraban una capacidad potencial de 2,000 MW en el Sur del Istmo de Tehuantepec,

Los Laboratorios Nacionales de Energía Renovable (National Renewable Energy Laboratories) de los Estados Unidos realizaron un estudio a profundidad sobre el potencial eólico de la región el cual fue financiado a través de recursos del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y de la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos. El resultado fue el Atlas Eólico del Estado de Oaxaca.

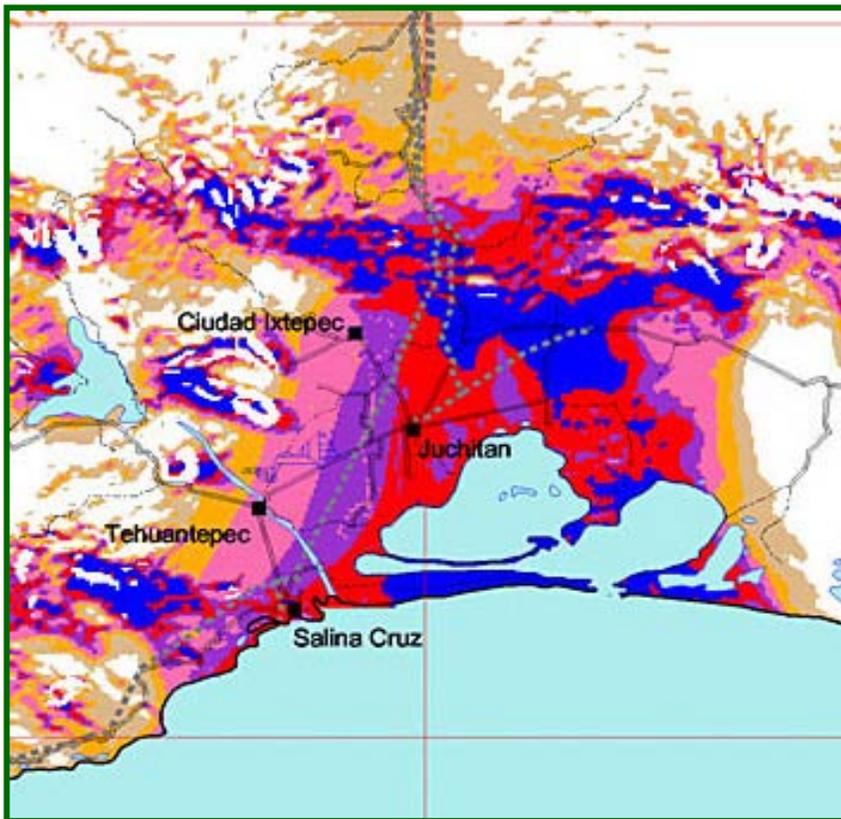


Capítulo 3 Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



Los principales resultados del estudio fueron:

- En la Región del Istmo de Tehuantepec aflora una corriente marina anormalmente caliente, originando un gradiente térmico y de presión que da lugar a un intenso viento del norte desde el otoño hasta la primavera.
- El potencial eólico de la región es de 33,200 MW en 6,637 Km² de los 95,364 Km² de la superficie de la entidad.
- Por medio de los actuales esquemas de inversión pública y privada sería rentable instalar parques eólicos con capacidad total de 6,250 MW.



Wind Power Classification		
Resource Potential	Wind Power Density at 50 m W/m ²	Wind Speed ^a at 50 m m/s
Poor	0 - 200	0 - 5.3
Marginal	200 - 300	5.3 - 6.1
Moderate	300 - 400	6.1 - 6.7
Good	400 - 500	6.7 - 7.3
Excellent	500 - 600	7.3 - 7.7
	600 - 800	7.7 - 8.5
	> 800	> 8.5

^aWind speeds are based on a Weibull k value of 1.8

Cap.3 Mapa 4 FUENTE: Atlas Estado de Oaxaca, realizado Por NREL. (National Renewable Energy Laboratorios)

Las mediciones realizadas en la región del Istmo de Tehuantepec, demuestran que el área cuenta con un potencial de viento de 6,637 Km², donde el viento alcanza una velocidad promedio de 7 m/s, a una altura aproximada de 50 metros, destacando por ser la región de mayor potencial eólico en el mundo.

Existen diversos beneficios en la utilización de la energía eólica entre los que se encuentran, reducir la dependencia a los combustibles fósiles consecuentemente reduciendo también los niveles de contaminación atmosférica, siendo sus principales ventajas los reducidos tiempos de construcción y el espacio requerido para la instalación de los aerogeneradores que es menor al 5% de los predios.



Capítulo 3

Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



La Comisión Federal de Electricidad incursionó en el aprovechamiento de la energía del viento el 10 de Noviembre de 1994, con la construcción y operación de la central eólica la Venta, ubicada en el estado de Oaxaca, siendo la primera central eólica instalada en América Latina, con una capacidad de generación de 1.575 MW, la central eólica consta de 7 aerogeneradores marca Vestas cada uno con capacidad de generación de 225 KW, que aprovechan la energía del viento a partir de 4.5 m/s hasta 20 m/s, debajo de 4.5 m/s no se genera electricidad y con velocidades superiores a los 20 m/s el aerogenerador deberá frenarse para evitar daños al equipo, cada aerogenerador convierte el impulso proporcionado por el viento en energía eléctrica, por medio de una aeroturbina que transmite su movimiento a un generador eléctrico.

Actualmente la Comisión Federal de Electricidad terminó la instalación de “La Venta II”, un parque eólico con capacidad de 83.075 MW ubicado en el estado de Oaxaca en la región del Istmo de Tehuantepec, la energía que generará equivale al 13% de la electricidad utilizada por el estado de Oaxaca, abasteciendo más de 70 mil hogares.

La capacidad de producción de energía total de la central eoloelectrónica la Venta (I y II), es de 85 MW que comparado con la Nucleoelectrónica de Laguna Verde que genera 1,365 MW, La Venta tiene una capacidad de generación del 6% por lo que la aportación al sistema eléctrico nacional es mínima.

Como parte de la nueva reforma del sector eléctrico que busca impulsar las energías renovables, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) notificó el inicio del desarrollo de la central eólica La Venta III, que tendrá una capacidad de generación de 101 megawatts (MW), y se localizará en el estado de Oaxaca en la región del Istmo de Tehuantepec, desde donde se interconectará al Sistema Eléctrico Nacional.

La central eólica La Venta III constará de 121 aerogeneradores de 850 kilowatts de potencia cada uno, con una altura de 44 metros y con su capacidad de generación se evitará la emisión de 150 mil toneladas anuales de bióxido de carbono a la atmósfera. (Ref. Martes, 31 de marzo de 2009 a las 14:00 hrs; por la Unidad de Control de Gestión. Inicia CFE el Desarrollo del Proyecto Eólico La Venta III, CFE, 2009)

Este proyecto se realizará bajo la modalidad de Productor Externo de Energía (PEE), por lo que la empresa que ganó la licitación convocada al efecto, deberá operar y mantener las instalaciones de la central de conformidad con lo establecido en las bases de licitación. Las obras de este proyecto serán realizadas por la empresa Iberdrola Renovables, S. A., que ganó la Licitación Pública Internacional No. 18164093-025-08.

Según la Dirección de Proyectos Estratégicos de la Secretaría de Economía del gobierno de Oaxaca, el corredor eólico contempla hasta el 2012 la construcción de nueve parques mediante el esquema de “autoabasto”, para generar casi 2 mil MW con una inversión de unos 6 mil millones de dólares. (Ref. Segob. SEC. de Economía, gobierno de Oaxaca, 2009)

Mientras que la CFE, además del parque eólico La Venta II —en su primer año (2007) generó casi 249 mil MW de electricidad, equivalente para iluminar 56 mil hogares— construirá las plantas La Venta III, IV, V, VI, VII **con 100 MW cada uno, están programados para entrar**



Capítulo 3

Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



en operación entre 2009 – 2012, y Oaxaca I, II, III y IV, donde producirá poco más de 600 MW.

Hasta Marzo del 2009 en México se encuentran en operación 104 unidades eoloeléctricas, con una potencia total instalada de 85.25 MW en la central eólica la venta (Oaxaca), además de 1 unidad perteneciente a la central eoloeléctrica Guerrero Negro (Baja California Sur) con una capacidad instalada de 0.6 MW que se distribuye en la red de Baja California, sistema aislado del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), las unidades eoloeléctricas suministran al Sector Eléctrico Nacional (SEN) el 0.16% de generación de energía eléctrica.

3.4 Plantas de generación de energía eléctrica, Utilizando como fuente de generación la energía del Sol (Plantas Solares).

Las plantas de generación de energía eléctrica que aprovechan la energía que desprende el sol en forma de luz y calor para producir energía eléctrica se conocen como centrales solares. El principio de funcionamiento de las plantas solares se basa en convertir la energía que proviene de las radiaciones solares en energía eléctrica utilizable, mediante un material cristalino semiconductor (silicio, sulfuro de cadmio, fósforo de indio, entre otros), que al recibir los fotones de la luz del sol, provocan el movimiento de los electrones libres que fluyen dentro de este material produciendo como resultado un voltaje, este dispositivo se conoce como, celda fotovoltaica, otra forma de lograr el aprovechamiento de la energía del sol consiste en colocar paneles solares que reflejan la luz del sol concentrando esta energía en un solo punto, este calor es utilizado para calentar algún líquido convirtiéndolo en vapor que finalmente, se utiliza para producir electricidad.

Existen dos tipos de plantas solares que se clasifican de acuerdo con la forma de aprovechar la energía del sol:

1. Plantas solares de generación fotovoltaica:

Las centrales solares fotovoltaicas, generan energía eléctrica a partir de materiales cristalinos semiconductores conocidos como celdas fotovoltaicas como su nombre lo indica, al recibir las partículas luminosas conocidas como fotones, los electrones libres que poseen estos materiales comienzan a desplazarse en una misma dirección, este flujo de electrones origina finalmente un voltaje, en la construcción de celdas fotovoltaicas se utilizan materiales a base de silicio principalmente, que son capaces de convertir en voltaje entre el 5 y 15% de la energía luminosa que reciben, proporción que disminuye conforme aumenta la temperatura, actualmente cada watt generado por celdas fotovoltaicas a base de silicio cuesta aproximadamente 10 dólares, debido a los elevados costos de fabricación de estos materiales, existen celdas fotovoltaicas de menor costo, fabricadas a base de sulfuro de cadmio, pero su generación de energía es tres veces menor. Los sistemas de generación de energía eléctrica mediante paneles solares, tienen aplicaciones menores en instalaciones lejanas a todo suministro eléctrico y de baja demanda de energía, México es uno de los países con mayor incidencia de radiación solar, aplicándose con grandes resultados los



Capítulo 3 Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



sistemas fotovoltaicos en programas de suministro eléctrico rural, generándose cerca de 7 MW de energía eléctrica.

Los Sistemas fotovoltaicos convierten directamente parte de la energía de la luz solar en electricidad. Las celdas fotovoltaicas se fabrican principalmente con silicio, el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre, el mismo material semiconductor usado en las computadoras. Cuando el silicio se contamina o dopa con otros materiales de ciertas características, obtiene propiedades eléctricas únicas en presencia de luz solar. Los electrones son excitados por la luz y se mueven a través del silicio; éste es conocido como el efecto fotovoltaico y produce una corriente eléctrica directa. Las celdas fotovoltaicas no tienen partes móviles, son virtualmente libres de mantenimiento y tienen una vida útil de entre 20 y 30 años.

2. Plantas solares de generación fototérmica:

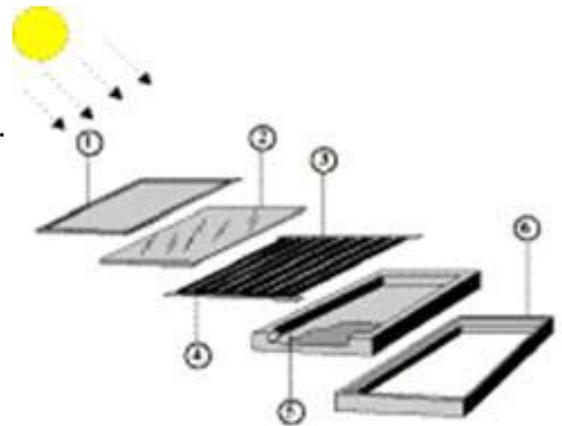
Son plantas solares que aprovechan el calor del sol, por medio de colectores llamados helióstatos, que actúan automáticamente para seguir la variación de la orientación del Sol respecto a la Tierra. Realizan la función de captar y reflejar a un punto en específico la energía luminosa, el calor concentrado alcanza elevadas temperaturas, que al transferirse a un líquido al instante se convierte en vapor, este vapor es utilizado para generar energía eléctrica de forma semejante al proceso realizado en las centrales termoeléctricas.

Existen dos tipos de plantas solares fototérmicas, que se clasifican dependiendo del tipo de colectores de energía solar y del sistema utilizado para generar energía eléctrica.

1. Plantas solares que utilizan **colectores solares de baja temperatura**: Acumulan calor mediante materiales metálicos o no metálicos generando temperaturas menores a 65°C, para aplicaciones tales como calentamiento de piscinas, calentamiento doméstico de agua para baño y, en general, para todas aquellas actividades industriales en las que el calor de proceso no es mayor a 60° C, por ejemplo la pasteurización, el lavado textil, etc., es utilizado en comunidades rurales principalmente.

Está constituido básicamente por:

- 1.- Marco de aluminio anodizado.
- 2.- Cubierta de vidrio templado, bajo contenido en hierro.
- 3.- Placa absorbidora. Enrejado con aletas de cobre.
- 4.- Cabezales de alimentación y descarga de agua.
- 5.- Aislante, usualmente poliestireno, o unicel
- 6.- Caja del colector, galvanizada.



Cap.3 Fig. 7 colector solar

Para la mayoría de los colectores solares se tienen dimensiones características. En términos generales la unidad básica consiste de un colector plano de 1.8 a 2.1 m² de superficie, conectado a un termostanque de almacenamiento de 150 a 200 litros de capacidad; a este



Capítulo 3

Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



sistema frecuentemente se le añaden algunos dispositivos termostáticos de control a fin de evitar congelamientos y pérdidas de calor durante la noche.

Las unidades domésticas funcionan mediante el mecanismo de termosifón, es decir, mediante la circulación que se establece en el sistema debido a la diferencia de temperatura de las capas de líquido estratificadas en el tanque de almacenamiento. Para instalaciones industriales se emplean varios módulos conectados en arreglos serie-paralelo, según el caso, y se emplean bombas para establecer la circulación forzada.

En México el principal mercado del colector solar plano se ubica en las grandes ciudades, ya que en ellas el problema de la contaminación ambiental es realmente complejo. Numerosos estudios han identificado con bastante precisión las principales fuentes contaminadoras, algunas de ellas no tan evidentes como lo son los procesos de combustión de los automotores y de las plantas industriales, pero que son igualmente dañinas y que aportan en gran escala agentes para la formación de ozono.

El problema antes mencionado puede ser atacado mediante un amplio espectro de posibilidades tecnológicas termosolares, probadas todas ellas, en las que se puede confiar para reducir el impacto ambiental en las grandes ciudades de la República Mexicana.

2. Plantas solares que utilizan **colectores solares de temperatura media**. Son los dispositivos que concentran la radiación solar para entregar calor útil a mayor temperatura, usualmente entre los 100 y 300° C. En esta categoría se tienen a los concentradores estacionarios y a los canales parabólicos, todos ellos efectúan la concentración mediante espejos dirigidos hacia un receptor de menor tamaño. Tienen el inconveniente de trabajar solamente con la componente directa de la radiación solar por lo que su utilización queda restringida a zonas de alta insolación.
3. Plantas solares que utilizan **colectores solares de alta temperatura**: concentran la energía que reciben del sol, por medio de espejos que reflejan la energía recibida hacia un solo punto receptor de menor tamaño, generando en este proceso calor a elevada temperatura aproximadamente entre 300 y 500°C. Las plantas solares fototérmicas emplean comúnmente colectores solares de alta temperatura en tres diferentes tipos de sistemas con el propósito de generar la mayor cantidad de energía posible, los tres tipos diferentes de colectores de alta temperatura utilizados actualmente son: colectores de plato parabólico, colectores de canal parabólico y sistemas de torre central.
 - Plantas solares que utilizan sistema termosolar de **plato parabólico**: utilizan colectores en forma de plato parabólico que siguen la trayectoria del sol, recibiendo la energía luminosa mediante concentradores de calor, ubicados justamente por arriba del plato parabólico en su punto focal.
 - Plantas solares que utilizan sistema termosolar de **canal parabólico**: utilizan reflectores (espejos) parabólicos que siguen la trayectoria del sol, alineados en una configuración de canal, enfocando la energía del sol directamente sobre un tubo que

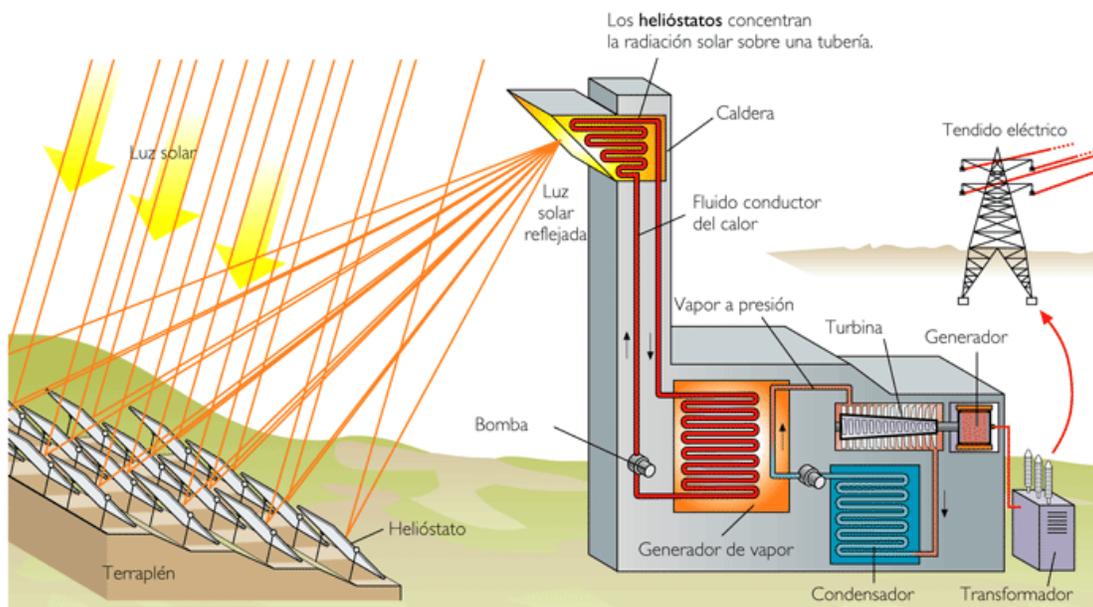


Capítulo 3 Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



se extiende a lo largo de su foco por donde circula agua que es convertida instantáneamente en vapor alcanzando temperaturas de hasta 500°C

- Plantas solares que utilizan sistema termosolar de **torre central**: se basa en la construcción de una estructura central rodeada por un conjunto de espejos planos altamente reflejantes conocidos como helióstatos que son capaces de reflejar la luz del sol hacia un punto receptor ubicado en la torre, con la ayuda de una computadora y un preciso mecanismo, este calor es transmitido a un líquido que alcanza temperaturas de mayores a los 500°C, para una central termosolar de torre central con capacidad de generación de 10 MW la superficie ocupada por los helióstatos abarcan 0.2 Km²



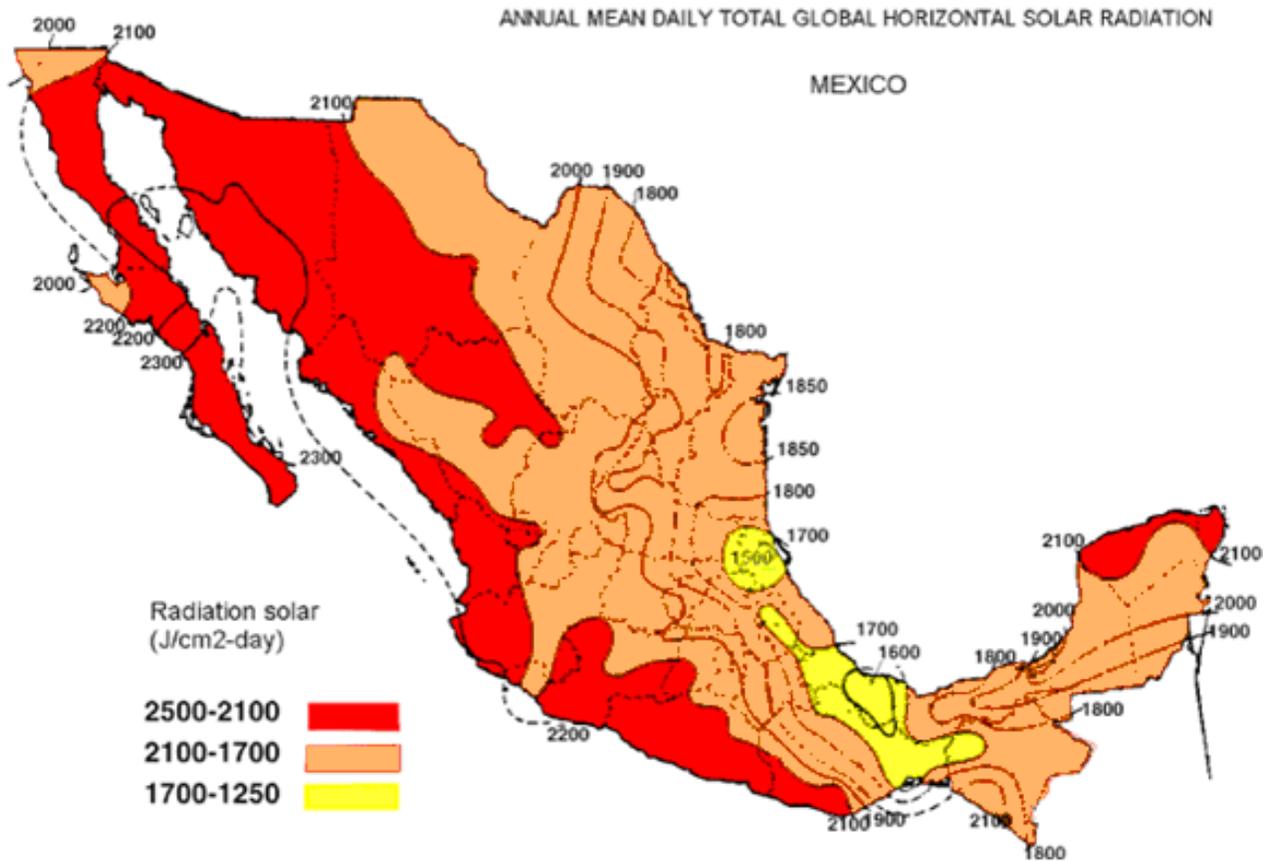
Cap.3 Fig 4 Diagrama de una Central Termosolar Tipo Torre Central (fuente: Autor, 2009)

Energía Solar en México.

En 1975 el Instituto de Ingeniería de la UNAM generó la primera versión de los mapas de irradiación global diaria promedio mensual para México, utilizando datos de insolación de 54 estaciones meteorológicas del Sistema Meteorológico Nacional (SMN). Posteriormente, mediante la ampliación de la base de datos proporcionada por el SMN, se publicó la actualización de dichos mapas de irradiación. El modelo aplicado por Rafael Almanza, investigador del Instituto de Ingeniería, tiene desviaciones menores del 10 por ciento y fue desarrollado en la India, situación que hizo más confiable su aplicación en México, ya que tanto la latitud, como los climas en ambos países son semejantes. Actualmente este modelo es el más consultado en México para estimar las cantidades totales de radiación diarias sobre superficies horizontales.



Capítulo 3 Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



Cap.3 Mapa 5 Radiación solar horizontal total por año

Afortunadamente la tecnología satelital ha abierto, en la última década, la posibilidad de evaluar la radiación solar en la superficie terrestre por medio de imágenes de satélite. Se ha visto que los satélites estacionarios proporcionan información más confiable que la que se tiene en la actualidad, pero para contar con ella es necesario calibrar las imágenes con mediciones en tierra en diferentes puntos de la República Mexicana, con la finalidad de mejorar los algoritmos usados para la evaluación por medio de imágenes. Además esta información, en tiempo real, puede ser usada para analizar el funcionamiento de plantas termosolares y fotovoltaicas. Por lo tanto, se recomienda ampliamente evaluar la radiación solar con imágenes de satélite.

En México, el Centro de Investigaciones Avanzadas del IPN ha sido pionero del desarrollo fotovoltaico desde hace más de 25 años, período en el que se han fabricado tanto celdas de silicio cristalino como módulos fotovoltaicos a nivel de planta piloto. No obstante, no se ha llegado a la fabricación en serie, más bien el objetivo ha sido demostrar la disponibilidad tecnológica para la producción de celdas con vistas a su industrialización; sin embargo, la tecnología utilizada es prácticamente artesanal y los elementos de producción limitados, aún cuando varios módulos han sido instalados, principalmente por dependencias gubernamentales. Otras Instituciones como el Laboratorio de Energía Solar y el Instituto de Física, ambas de la UNAM, han desarrollado cierta actividad, principalmente en la tecnología de películas delgadas, probando diferentes técnicas de deposición y analizando varios compuestos.



Capítulo 3

Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



A la fecha no han logrado obtener prototipos, motivo por el que se puede aseverar que el desarrollo fotovoltaico en México es realmente incipiente.

Respecto a los equipos periféricos y de control utilizados en los sistemas fotovoltaicos que se han instalado en México, se puede decir que la tecnología actual está completamente asimilada. Existen empresas nacionales (Conдумex, ahora IEM, Grupo PIM y ACUMEX entre otras) que fabrican comercialmente controladores, centros de carga y demás componentes electrónicos para diferentes capacidades y condiciones de operación. Análogamente a los controladores de carga, la tecnología de los inversores de corriente está ampliamente asimilada. En México la mayoría de las unidades de autotransporte de primera clase utilizan inversores de fabricación nacional para los diversos servicios que brindan a bordo. La actividad en los centros de investigación mexicanos es prácticamente nula en este aspecto, dado que esta fracción de la tecnología fotovoltaica no es vanguardista.

En México se incursiona en el desarrollo de la energía termosolar con el proyecto Mexicali II ubicado en San Luis Río Colorado, Sonora. Este proyecto contempla la opción de generar 25 MW adicionales por medio de un campo termosolar de 130,000 m² en una planta de ciclo combinado de 220 MW de capacidad proyecto desarrollado por un Productor Independiente de Energía (PIE).

3.5 Generación de energía eléctrica utilizando como fuente de generación la energía del mar.

Las plantas de generación de energía eléctrica que utilizan como fuente de generación la energía producida por las mareas se conocen como plantas maremotrices.

Las centrales maremotrices utilizan la energía que proporcionan las mareas que se deben principalmente a la fuerza de atracción gravitatoria que ejerce el sol y principalmente la luna sobre la tierra provocando las mareas que son una variación del nivel del mar que ocurre cada 12 horas con 30 minutos ocasionando una diferencia en el nivel del mar entre 2 y 15 metros dependiendo de la zona geográfica costera.

Existen dos formas de lograr el aprovechamiento de las olas de mar

- Centrales maremotrices Mediante una cuenca natural: El proceso de aprovechamiento de la energía del mar consiste en retener el agua en el momento de marea alta, por medio de una cuenca donde el agua entra pasando por una turbina de tipo reversible posteriormente, esta agua almacenada se libera en el momento de la bajamar, pasando por la misma turbina reversible generando mayor cantidad de energía



Capítulo 3 Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



- Centrales maremotrices mediante un dique construido artificialmente: Otra forma de lograr el aprovechamiento del agua de mar se obtiene construyendo un dique, cuando la marea sube de nivel se abren las compuertas del dique permitiendo ingresar el agua de un extremo a otro, impulsando las turbinas reversibles acopladas a unos generadores situados junto a los conductos por donde pasa el agua. Cuando viene la marea baja el agua que entró al dique es regresada de nueva cuenta al mar pasando por las turbinas generando aún más electricidad.

La energía de las olas de mar es proporcional a la masa de agua que se desplaza de forma oscilante, contiene dos tipos de energía, energía potencial debida a la deformación de la superficie del mar y energía cinética debida al movimiento de las olas.

Actualmente en México se cuenta con un extenso territorio costero, a pesar de esto aún no existe la tecnología necesaria para aprovechar la energía que proporcionan las corrientes de agua de mar, por lo que será necesario invertir en el aprovechamiento de esta gran fuente energética en busca de un mayor desarrollo sustentable.

3.6 Generación de energía eléctrica utilizando la energía del Hidrógeno.

El hidrógeno es el elemento químico de número atómico 1 y símbolo H.

A temperatura ambiente se lo encuentra como hidrógeno diatómico, un gas inflamable, incoloro e inodoro, y es el elemento químico más ligero y más abundante del Universo, estando las estrellas formadas mayormente por este elemento en estado de plasma durante la mayor parte de sus ciclos.

Aparece además en multitud de sustancias como, por ejemplo, el agua y los compuestos orgánicos, y es capaz de reaccionar con la mayoría de los elementos, es el elemento más abundante en la naturaleza.

El núcleo del isótopo más abundante está formado por un solo protón. Además existen otros dos isótopos: el deuterio (tiene un neutrón) y el tritio (tiene dos neutrones).

Al igual que la gasolina y el gas LP que usamos en casa, el hidrógeno no se encuentra libre en nuestro planeta y debemos gastar para obtenerlo. El hidrógeno se encuentra en forma de agua, plantas y otros seres vivos, pero además se encuentra presente en hidrocarburos de origen fósil y no fósil.

Por ejemplo, algunas fuentes de hidrógeno son:

1. Agua: se puede producir hidrogeno, mediante la electrólisis del agua que consiste en hacerle pasar corriente eléctrica hasta producir vapor, logrando la separación del hidrogeno a través de un reactor electroquímico. Este método se usa también a nivel industrial pero requiere de energía eléctrica la cual si es generada a partir de combustibles fósiles, resta los beneficios ofrecidos por el uso del hidrógeno.



Capítulo 3

Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



2. Gas Natural (cuyo principal componente es metano): Este compuesto es precisamente la materia prima que más se utiliza en la industria para generar hidrógeno. Así recursos no renovables como el gas natural podrían ser mejor utilizados si se emplean en forma de hidrógeno en tanto éste último reemplaza completamente a otras fuentes fósiles de energía. También esta transformación de hidrocarburos ligeros a hidrógeno podría alargar la vida de las reservas existentes de los primeros.
3. Biogás generado en rellenos sanitarios y plantas de tratamiento de agua (donde se genera gas metano): El gas metano es transformado a alta temperatura, mediante procesos con vapor de agua y catalizadores, en un gas rico en hidrógeno el cual es posteriormente purificado para producir hidrógeno grado industrial.
4. Esquilmos (desperdicios agrícolas que pueden posteriormente ser fermentados para generar metano ó algún tipo de alcohol)

Así, el mayor potencial del uso de hidrógeno se alcanzaría si este gas es extraído de manera sustentable por ejemplo mediante electrólisis del agua acoplado a fuentes renovables de energía como el sol, viento, hidráulica ó bien a partir de biogás generado en procesos de descomposición de desperdicios como los agroindustriales, la basura ó aguas residuales.

El hidrógeno se almacena comercialmente en tanques principalmente a presiones altas (hidrógeno presurizado) y en menor escala debido a su alto costo, en forma licuada es decir como hidrógeno líquido.

Ambos medios de almacenamiento son industrialmente manejados y para algunas aplicaciones del hidrógeno como combustible son suficientes. Sin embargo, en aplicaciones como el transporte se requiere almacenar mayores cantidades de hidrógeno para ofrecer autonomía en los vehículos. Por ello, se están desarrollando nuevos medios para almacenar hidrógeno de una manera más compacta, esto es, con mayor densidad de energía (energía por unidad de volumen ó de peso). Alternativas relativamente comerciales para ello son los tanques de hidruros metálicos, los cuales contienen aleaciones que son capaces de absorber hidrógeno entre sus átomos metálicos de tal manera que los átomos de hidrógeno se encuentran entre sí, más cerca que cuando el gas está licuado. Esto proporciona la posibilidad de almacenar hidrógeno en un sistema de alta densidad energética. Los hidruros tienen la desventaja de ser pesados y solamente aceptar un bajo porcentaje del gas en relación a su peso.

Algunas estrategias para utilizar hidrógeno en algunas aplicaciones que no requieren moverse consideran el almacenamiento de un compuesto que contenga hidrógeno para antes de su uso ser transformado en hidrógeno combustible en el propio sitio de consumo. Por ejemplo, un (substituto de una gasolinera) podría recibir gas natural y almacenarlo para estar convirtiéndolo en hidrógeno previo a su despacho en los autos.



Capítulo 3

Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



Esta estrategia tiene el sentido de utilizar infraestructura ya existente, aunque existen retos técnicos para la transformación de gas natural a hidrógeno en baja escala. La ciencia y la ingeniería están trabajando para resolver estos retos y hacer realidad el almacenamiento del hidrógeno para su aprovechamiento como combustible limpio.

Las Celdas de Combustible (Pilas de Hidrogeno)

Son equipos que a través de las reacciones electroquímicas, la reducción del oxígeno y la oxidación de un combustible (regularmente hidrógeno), transforman la energía química de estos elementos, en eléctrica y calorífica.

El combustible al fluir en la celda a través del electrodo negativo, y mediante un catalizador de platino propicia la separación del hidrógeno en iones, siendo éstos transportados a través de un electrolito, los que alcanzan el electrodo positivo, que al combinarse con el oxígeno generan agua. Los electrones que no cruzan a través del electrolito fluyen por un circuito eléctrico externo con lo que se genera un voltaje, que al conectar una carga produce una corriente eléctrica.

El mayor beneficio del uso de hidrógeno como combustible se alcanza cuando éste se emplea en dispositivos de generación de energía eléctrica llamados Celdas de Combustible. Una celda de combustible genera electricidad combinando hidrógeno y oxígeno electroquímicamente sin ninguna combustión de una manera directa y por lo tanto eficientemente.

Estas celdas no se agotan como lo haría una batería en tanto se les alimente de combustible hidrógeno y el oxidante. Así generarán energía eléctrica y calor mientras se les provea de combustible, siendo los únicos subproductos generados agua 100% pura, produciendo también calor. La manera en que las celdas de combustible operan es mediante una celda electroquímica consistente en dos electrodos, un ánodo y un cátodo, separados por un electrólito.

El oxígeno, que puede provenir del aire, pasa sobre el cátodo ó electrodo positivo, mientras que un combustible como el gas hidrógeno lo hace sobre el ánodo. Cuando el hidrógeno es ionizado en el ánodo el gas se oxida y pierde un electrón, al ocurrir esto el electrón toma un camino fuera de la celda de combustible significando una corriente eléctrica. Al final ambos elementos hidrógeno y oxígeno se vuelven a reunir para formar agua.

La energía aprovechable de esta reacción está dada por la diferencia de potencial ó voltaje entre ambos electrodos. Por otra parte, la corriente generada depende de la eficiencia de la celda y del área aprovechada para la reacción. Estos dos factores son de suma importancia tecnológica ya que de ellos dependerá la eficiencia y por lo tanto, la potencia utilizable de estas fuentes generadoras de electricidad. Así, para generar cantidades útiles de energía eléctrica las celdas de combustible pueden ser configuradas a partir de varias celdas unitarias



Capítulo 3

Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



conectadas en serie, además de variar el área de sus electrodos y obtener así el voltaje, la corriente y por lo tanto la potencia, apropiados para la aplicación final.

Existen varios tipos de celdas de combustible pero de manera general se pueden dividir en aquellas de baja temperatura y celdas de alta temperatura.

Las primeras aunque son menos eficientes presentan ventajas sobre las segundas debido a una menor complejidad de sus sistemas, una mayor velocidad de respuesta y la posibilidad de ser más compactas.

Las celdas de baja temperatura son las que más desarrollo han tenido e incluyen las celdas de electrolito polimérico (PEFC ó PEMFC), las de ácido fosfórico (PAFC) y las alcalinas (AFC), requieren el uso de hidrógeno generalmente de alta pureza y pueden ser obtenidas (aunque de manera limitada) con compañías que las desarrollan.

Las de alta temperatura son altamente eficientes y presentan ventajas como la capacidad de generación de mediana y alta potencia, así como la de poder utilizar combustibles como el gas natural en celdas de alta temperatura. A pesar de las ventajas de las celdas de combustible de alta temperatura como las de óxido sólido (SOFC) y las de carbonatos fundidos (MCFC), éstas celdas aún no alcanzan un grado de comercialización.

Tipos de Celdas de Combustibles

Ácido fosfórico (PAFCs). Este es el tipo de celda de combustible más desarrollado a nivel comercial, ya se encuentra en uso en aplicaciones tan diversas como clínicas y hospitales, hoteles, edificios de oficinas, escuelas, plantas eléctricas y una terminal aeroportuaria. Las celdas de combustible de ácido fosfórico generan electricidad a más del 40% de eficiencia – y cerca del 85% si el vapor que ésta produce es empleado en cogeneración – comparado con el 30% de la más eficiente máquina de combustión interna. Las temperaturas de operación se encuentran en el rango de los 400 °F. Este tipo de celdas pueden ser usadas en vehículos grandes como autobuses y locomotoras.

Polímero Sólido ó Membrana de Intercambio Protónico (PEM). Estas celdas operan a relativamente bajas temperaturas (unos 200 °F), tienen una densidad de potencia alta, pueden variar su salida rápidamente para satisfacer cambios en la demanda de potencia y son adecuados para aplicaciones donde se requiere una demanda inicial rápida, como en el caso los de automóviles.

De acuerdo con el Departamento de Energía de los Estados Unidos, "Las celdas de polímero sólido son los principales candidatos para vehículos ligeros, edificios, y potencialmente para otras aplicaciones mucho más pequeñas como el reemplazamiento de baterías recargables en vídeo cámaras".



Capítulo 3

Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



Carbonato Fundido (MCFCs). Las celdas de combustible de carbonato fundido prometen altas eficiencias combustible-electricidad y la habilidad para consumir combustibles a base de carbón. Esta celda opera a temperaturas del orden de los 1,200°F. La primera pila de carbonato fundido a gran escala ha sido ya probada y algunas unidades para demostración están siendo terminadas para su prueba en California desde 1996.

Óxido Sólido (SOFCs). Otra celda de combustible altamente prometedor, la Celda de Combustible de Óxido Sólido, podría ser usada en aplicaciones grandes de alta potencia incluyendo estaciones de generación de energía eléctrica a gran escala e industrial. Algunas organizaciones que desarrollan este tipo de celdas de combustible también prevén el uso de éstas en vehículos motores. Una prueba de 100 kW está siendo terminada en Europa mientras que dos pequeñas unidades de 25 kW se encuentran ya en línea en Japón. Un sistema de óxido sólido normalmente utiliza un material duro cerámico en lugar de un electrólito líquido permitiendo que la temperatura de operación alcance los 1,800°F. Las eficiencias de generación de potencia pueden alcanzar un 60%. Un tipo de celda de combustible de óxido sólido utiliza un arreglo de tubos de un metro de longitud mientras que otras variaciones incluyen un disco comprimido semejando la parte superior de una lata de sopa.

Alcalinas. Utilizadas desde hace mucho tiempo por la NASA en misiones espaciales, este tipo de celdas pueden alcanzar eficiencias de generación eléctrica de hasta 70%. Estas celdas utilizan hidróxido de potasio como electrólito. Hasta hace poco tiempo eran demasiado costosas para aplicaciones comerciales pero varias compañías están examinando formas de reducir estos costos y mejorar la flexibilidad en su operación.

Alrededor del mundo los principales fabricantes de automóviles cuentan con programas de investigación y desarrollo de la tecnología. Estas experiencias las encontramos en el NECAR 4 y el NEBUS desarrollados por la empresa Daimler-Chrysler, el primero de ellos, a partir del Mercedes Benz Clase A, alimentado por una Celda de Combustible que consume hidrógeno líquido. Actualmente en forma experimental, se encuentra brindando servicio de traslado, en el Aeropuerto de Munich, Alemania, es considerado como de "Vehículo Cero Emisiones", alcanzando una velocidad máxima de 145 km/h, con una autonomía de 450 km y un espacio para cinco pasajeros y su equipaje. El segundo de estos es un prototipo aún, pero se han reportado eficiencias de conversión de energía de hasta un 55%, casi un 15% mayor que un motor Diesel.

Otros ejemplos, se encuentran en los autobuses experimentales de transporte público, que circulan por las calles de Chicago y de Vancouver, que a casi un año de funcionamiento han arrojado resultados y experiencias de su comportamiento en condiciones normales de tráfico.



Capítulo 3

Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



La producción del hidrógeno en México se da principalmente por:

- Vía reformación catalítica de hidrocarburos.
- Vía Electrolítica.

El Hidrógeno es obtenido como subproducto de varios procesos químicos, en México se encuentran instaladas 36 plantas para la producción de hidrogeno, se cuenta con una capacidad instalada de 16,797 Toneladas por año. De estas plantas, 25 de ellas operan con Gas Natural, en tal caso la producción por planta, estándar promedio es de 20,000 SCFH, (536 NCMH; en este caso específico estando las plantas a su máxima capacidad de diseño se estarían consumiendo 87,871, 696 m³ de gas natural al año.

Seis plantas operan con propano al 97%, en este caso la producción estándar promedio es de 15,000 SCFH (400 NCMH). Por último, 5 operan por vía electrolisis, su producción estándar promedio es de 1,866 SCFH, (50 NCMH).

Las plantas que generan hidrogeno vía reformación catalítica de hidrocarburos, entregan un hidrogeno producto, típicamente a 14.7 Kg/cm² y a 28 °C, en estado gaseoso. La pureza típica de diseño es de 99.99% en volumen Las impurezas son básicamente CO, CO₂ y H₂O.

Las plantas que generan hidrogeno vía electrolisis, entregan un hidrogeno producto, típicamente a 2 Kg/cm² y a 28 °C, en estado gaseoso. La pureza es típicamente de 99.99% en volumen, las impurezas son básicamente O₂ y H₂O.

Dentro de los Estados de la Republica Mexicana con mayor capacidad instalada para generación de hidrogeno, tenemos a: Veracruz. Estado de México, Jalisco, Nuevo León y Coahuila

3.7 Generación de energía eléctrica Utilizando la energía de la Biomasa.

La generación de energía eléctrica puede utilizar como fuente de energía renovable, la materia orgánica o Biomasa como son, (desechos agropecuarios, madera follaje, residuos de los bosque, bagazo de caña etc.) se puede lograr el aprovechamiento de los residuos orgánicos directamente mediante la combustión o convirtiendo la biomasa en diferentes tipos de combustibles, a través de diversos procesos como son: pirolisis, gasificación o fermentación.

Diversos sistemas de generación de electricidad híbridos (referidos al consumo de diversos tipos de combustibles renovables y no renovables) producen energía eléctrica adicional mediante el consumo de la biomasa principalmente gabazo de caña de donde se produce etanol que es utilizado como combustible con una capacidad energética similar al combustóleo.



Capítulo 3

Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



Existen dos formas de aprovechamiento de la biomasa las cuales son:

1. Aprovechamiento de la biomasa directamente en la caldera como fuente de generación de energía orgánica con capacidad de consumirse y generar calor como resultado de la combustión.
2. Aprovechamiento de la biomasa después de ser sometida a ciertos procesos físico-químicos o convertida en algún tipo de combustible derivado

De cualquier forma que se aproveche la biomasa produce energía térmica, este calor es aprovechado mediante un proceso parecido al de las plantas termoeléctricas donde el vapor generado en la caldera se envía a una turbina que acoplada a un generador produce electricidad.

La combustión directa que todos conocemos es el proceso por el que se aprovecha el poder calorífico de la biomasa en México. Naturalmente en México se siguen los métodos tradicionales para producir carbón, no son volúmenes muy altos, son específicos y el dato que se conoce es de alrededor de 70,000 toneladas anuales. La pirólisis además del carbón puede dar lugar a líquidos como el alquitrán que es un combustible con cierto poder calorífico alto de unas 9,000 o 10,000 Kcal por litro y también da lugar a la producción de monóxido de carbono que es un gas que puede emplearse como combustible.

Por el otro lado se tienen procesos biológicos, los tradicionales, la producción de alcohol a partir de productos celulósicos que por ejemplo nosotros conocemos tradicionalmente la producción de alcohol a través de una fermentación de caña. Cuando el azúcar está disponible para otros fines, alimenticios entre ellos, podemos pensar en residuos, en celulosa, darles un tratamiento con ácido clorhídrico, con alta temperatura, gasificarlos, llegar a la glucosa, fermentarlos y producir el alcohol.

El etanol o alcohol etílico es un compuesto químico que se presenta como un líquido incoloro y con un punto de ebullición en los 78.5°C. El etanol es obtenido principalmente a través de un proceso de fermentación y destilación. Su producción a nivel mundial ha tenido tradicionalmente como destino a la industria de las bebidas, la industria farmacéutica y otras ramas industriales en las que es utilizado como solvente y anticongelante.

Sin embargo, ante la severa dependencia de los países respecto a los hidrocarburos y los graves daños al medio ambiente producto de la contaminación se han buscado fuentes alternativas que sean económicamente rentables, encontrando en el etanol una alternativa como combustible.

Hoy en día el etanol es utilizado en algunos países como sustituto de las gasolinas o bien como oxigenante dentro de las mismas, sustituyendo al éter metil tert-butílico (MTBE) que produce una elevada contaminación para los mantos freáticos y con ello los sistemas de agua



Capítulo 3

Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



potable. Actualmente en México se utilizan tres tipos de materias primas para la producción a gran escala de etanol de origen biológico (bioetanol):

1. Sustancias con alto contenido de sacarosa como la caña de azúcar, la remolacha, las melazas y el sorgo dulce.
2. Sustancias con alto contenido de almidón como el maíz, la papa y la yuca.
3. Sustancias con alto contenido de celulosa como la madera y los residuos agrícolas.

De estas tres alternativas la menos compleja es la producción a partir de sustancias con alto contenido de sacarosa como la caña de azúcar, después se encuentra la producción con base en sustancias con almidón y finalmente aquéllas que contienen celulosa, cuya tecnología se encuentra en proceso de investigación.

En México se ha estado analizando la alternativa más factible y rentable para la producción de etanol; en virtud al clima y la vocación agrícola de la región Sureste se ha visualizado el uso de la caña de azúcar como una de las opciones más atractivas.

Según estadísticas de la zafra 2002/2003 en todo el país se registró una producción bruta de caña de azúcar de 44 millones de toneladas, de las cuales una considerable proporción se utilizó para producir 39 millones de litros de alcohol en 13 destilerías instaladas en ingenios azucareros. Aunque la principal alternativa que se promueve es la caña de azúcar también se analizan opciones como la yuca, si bien requerirían un proceso de reconversión de cultivos.

Comercialización del etanol

En febrero de 2006, con la aprobación de la Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos se estableció en su artículo 5 la obligación de que las gasolinas consumidas en los principales centros urbanos del país deberían **contener un mínimo de 10 por ciento** de componentes oxigenantes sustentados en etanol.

Sin embargo, ante el hecho de que PEMEX no cuenta con la infraestructura requerida para sustituir el MTBE por etanol, el 27 de abril del 2006 el Senado reformó esta Ley, flexibilizando la postura al señalar que *“se elaborarán programas que determinen los plazos para que las gasolinas que se consumen en los principales centros urbanos del país, cumplan con el porcentaje en peso de contenido de oxígeno en los términos de las normas oficiales mexicanas, usando para ello oxigenantes sustentados en etanol”*.

A pesar de ver lejana la perspectiva de PEMEX como uno de los consumidores principales de etanol en el país, las condiciones actuales del mercado en México presentan un atractivo para los ofertantes, ya que se estima que la producción actual de etanol en el país es de 56 millones de litros, si bien su consumo es de 164 millones de litros, lo que resulta en un déficit de 112 millones de litros, es decir, el 68% del consumo actual.

Además, según estudios del Banco Interamericano de Desarrollo la demanda de etanol en el corto plazo crecerá a 600 millones de litros haciendo al mercado interno un importante nicho de comercialización.



Capítulo 3

Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



Aunado a lo anterior, el mercado exterior también posee un elevado atractivo, incluso mayor que el del mercado interno.

Baste señalar que la demanda de etanol en los Estados Unidos durante el 2005 fue de 28 mil 400 millones de litros y se estima que para el 2012 esta demanda se duplique, particularmente con la aprobación por parte del Congreso de una Ley que obligue a que todo automóvil producido en Estados Unidos consuma una mezcla de 85% etanol y 15% gasolina.

Además de la producción de alcohol, el proceso de la fermentación anaeróbica puede ser empleado en muchos casos. El Instituto de Investigaciones Eléctricas empezó trabajando con residuos de animales, por un lado el proceso produce fertilizantes o un abono orgánico, más que un fertilizante es un acondicionador de suelos y en muchos casos se han hecho experimentos para emplearlo como un complemento alimenticio y por el otro tenemos un combustible que es el conocido como biogás. Hay una gran variedad de residuos que pueden aprovecharse, agrícolas, animales, algas que se generan en grandes cantidades en las costas, el lirio acuático por ejemplo que es una plaga en las presas de México y la basura que se está generando todos los días.

En México se generan alrededor de 170 metros cúbicos por segundo de agua residual y según las cifras de SEDESOL, existe la infraestructura para tratar del 20 al 30 por ciento aproximadamente, o sea que en ese campo existe una gran oportunidad de combinar procesos aerobios y anaerobios para abatir consumo de energía y generación y de lodos y lógicamente para tratar esa agua y bueno no hablemos de las aguas industriales que en algunos casos específicos se pueden utilizar con ventaja estos procesos.

Por el lado de la basura urbana, se conocen los rellenos sanitarios, en 1990 el IIE (Instituto de Investigaciones Eléctricas) realizó un estudio en los que hay aquí en el D.F. Había 6 clausurados y 3 en operación y muchos de ellos ya tenían 40 años, entre ellos el de Santa Fe y el de Santa Cruz Meyehualco, donde ya la recuperación de gas que se genera no es factible. Sin embargo, en los que estaban en operación en este tiempo están produciendo gran cantidad de gas y una muestra es el que está en Prados de la Montaña, el cual se encuentra en condiciones operativas.

En México se comienza a tener una mayor conciencia del potencial que ofrece el aprovechamiento de residuos, principalmente urbanos, dados los volúmenes que se manejan en las grandes ciudades del país. Estos residuos y los desechos de animales, desde hace tiempo se han venido utilizando en instalaciones a nivel de prototipo en el Instituto de Investigaciones Eléctricas y en el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

La cuantificación del recurso de la biomasa es una tarea complicada y no existen en México datos precisos, salvo las estadísticas que presenta anualmente el balance nacional de energía en el que se consignan las cantidades consumidas de leña y bagazo de caña. Se estima que



Capítulo 3
Generación de Energía Eléctrica
Mediante Energía Renovable



el consumo anual de los particulares es de 87,820 Tera Joules (TJ) de bagazo de caña y 247,400 TJ de leña, lo cuál da un total de 335,220 TJ.

Cap.3 Tabla 5 POTENCIAL DE BIOMASA EN LOS ESTADOS DE LA REPÚBLICA MEXICANA

ESTADO	BIOMASA
Aguascalientes	MUY BUENO 3
Chiapas	BUENO
Chihuahua	MUY BUENO 3
Coahuila	MUY BUENO 3
Durango	MUY BUENO 3
Hidalgo	MUY BUENO 3
Jalisco	MUY BUENO 1,3
Edo. de México y D.F.	MUY BUENO 2,3
Michoacán	MUY BUENO 3
Morelos	MUY BUENO 2
Nuevo León	MUY BUENO 1,3
Quintana Roo	MUY BUENO 2
San Luis Potosí	BUENO 1
Tamaulipas	MUY BUENO 3
Veracruz	MUY BUENO 1,3

Para estos casos se consideró:

1. El uso de residuos agrícolas, ya sea de ingenios azucareros o algún otro cultivo
2. Existencia de un relleno sanitario en ese Estado
3. Posibilidad de aprovechar desechos animales

Actualmente se han autorizado permisos por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), para la generación de energía eléctrica por medio de la biomasa, en base a la explotación del biogás en rellenos sanitarios municipales en Monterrey N.L. con una capacidad instalada de 10.8 MW y una generación de 54GW/h por año.

3.8 Sistemas Híbridos Eólico-Solar.

Los sistemas híbridos son una tecnología emergente y, como tal, se encuentran en proceso de investigación; su arquitectura aún no está bien definida y por lo tanto, ni la filosofía de control ni el equipo correspondiente son tecnologías ya establecidas. El sistema de X-Calak (1992) representa la mayor instalación que se ha realizado en México bajo la concepción híbrida eólico-fotovoltaica y actualmente es objeto de análisis e investigación por parte de diferentes instituciones y empresas.



Capítulo 3

Generación de Energía Eléctrica Mediante Energía Renovable



El equipo de acondicionamiento de potencia, tal como los inversores de corriente, algunos convertidores y los controladores de carga, están en la etapa de prototipos industriales y poco se ha hecho para caracterizar el comportamiento en campo de las unidades disponibles comercialmente.

De cualquier manera, dado que los sistemas híbridos son por definición centralizados, es decir, proporcionan energía al usuario por medio de una red de distribución; falta definir el conocimiento preciso de las posibles ventajas que puedan presentar en comparación con los sistemas fotovoltaicos dispersos o distribuidos; éste es un tema que debe ser analizado más profundamente antes de impulsar su desarrollo.



Capítulo 4.

4 Panorama de la energía nuclear en México y en el mundo

Introducción

A continuación se presenta un panorama del uso de la energía nuclear primeramente a nivel mundial y después en México, de esta forma se podrá saber cuál ha sido su implementación en la actualidad y cual será su aplicación en el futuro, conoceremos las proporciones de uso de los combustibles nucleares en comparación con el uso de combustibles fósiles (carbón, gas natural, combustóleo y diesel). Se podrán comparar además fuentes de generación de energías renovables, como es la energía hidráulica que es base en la producción de electricidad renovable a nivel mundial, analizando sus ventajas y desventajas en comparación con la energía nuclear, conociendo además la implementación de la energía nuclear en nuestro país como fuente generadora de energía eléctrica, se podrá saber además si está contemplada la construcción de alguna central nuclear a corto, mediano y largo plazo; determinando los posibles beneficios de tomar en cuenta la construcción de plantas nucleoelectricas.

El presente capítulo nos describe además la zona más adecuada de construcción en caso de que se considere en un futuro construir una Central Nucleoelectrica en la República Mexicana, tomando en consideración los aspectos más importantes como son: distribución de la población, factor económico, cercanía del agua y otros recursos naturales disponibles, grado de sismicidad, cercanía con las fronteras además de la cercanía con otras plantas de generación existentes.

4.1 Panorama de la energía nuclear como fuente de generación de energía eléctrica a nivel mundial

En sus principios las investigaciones sobre la energía nuclear se utilizaron para la creación de bombas fabricadas durante la segunda guerra mundial, este tipo de energía está basada en la separación de átomos de algunos elementos radiactivos como el uranio o el plutonio, siendo hasta 1950 cuando la energía nuclear se utilizó con fines pacíficos como son la producción de energía eléctrica y la investigación. En la actualidad 8 países tienen la capacidad de desarrollar armas nucleares, de un total de 56 países donde operan diferentes tipos de reactores con fines pacíficos, más de 30 países utilizan la energía nuclear como fuente de generación de energía eléctrica. Actualmente se encuentran funcionando en el mundo 436 reactores de potencia, con una capacidad de generación mundial instalada de 372,220 MW (World Nuclear Association – Asociación Nuclear Mundial/ WNA), datos recientes demuestran que se encuentran en construcción más de 30 reactores de potencia alrededor del mundo correspondientes al 8% de la capacidad de generación instalada en la actualidad, además del número de reactores que se encuentran en planes de ser construidos equivalentes al 27% de la actual capacidad de generación nuclear instalada.

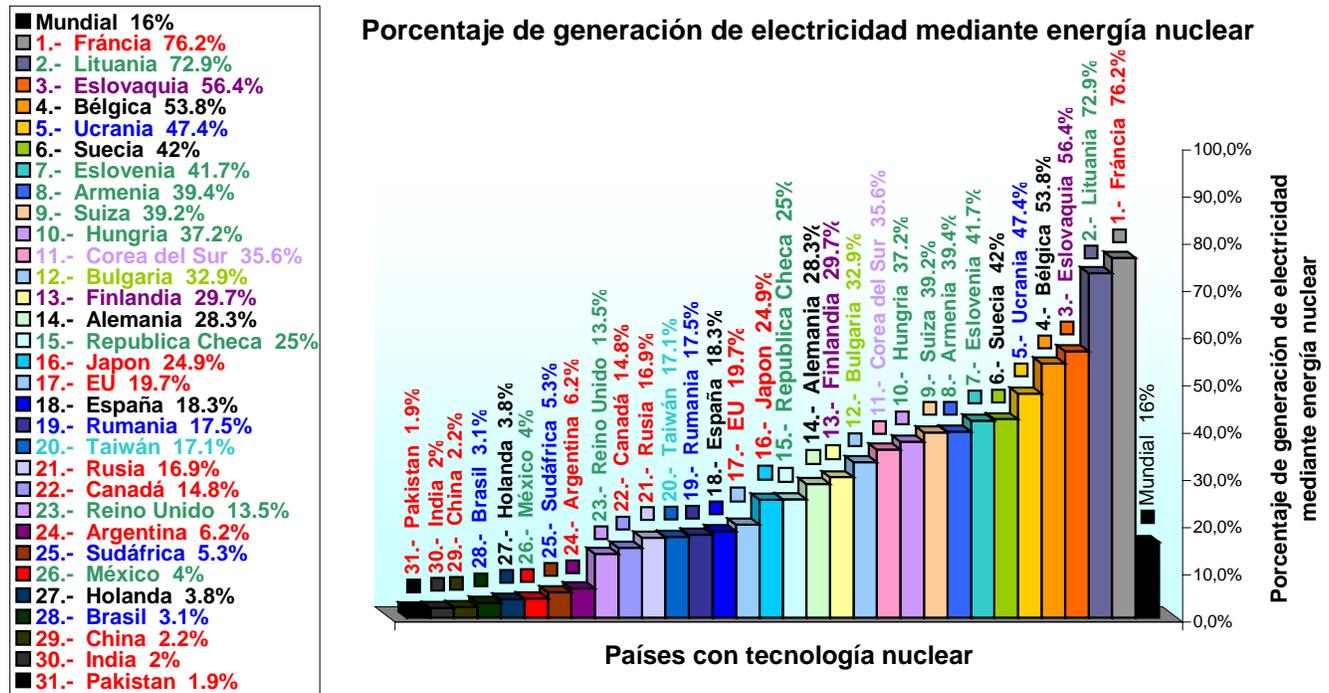


Capítulo 4



Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

En la grafica podemos apreciar la generación de potencia eléctrica mediante energía nuclear, también se observa qué porcentaje de generación representa respecto al total de energía generada en cada país.



Cap.4 Fig.1 Porcentaje de generación de energía eléctrica producida por energía nuclear en los países que cuentan con plantas nucleoelectricas (fuente: (Word Nuclear Association – Asociación Nuclear Mundial/ WNA)).

Como podemos observar en las anteriores graficas 16 países generan más de la cuarta parte de su energía eléctrica, utilizando como fuente de generación la energía nuclear. De todos estos países que dependen de la energía nuclear destacan Francia y Lituania debido a que aproximadamente tres cuartas partes de su energía eléctrica es obtenida utilizando como fuente de generación la energía nuclear.

Mientras Eslovaquia, Bélgica, Suecia, Ucrania, Corea del Sur, Suiza y Eslovenia, generan casi la mitad de la energía eléctrica que consumen, utilizando a la energía nuclear como principal fuente de generación de energía eléctrica.

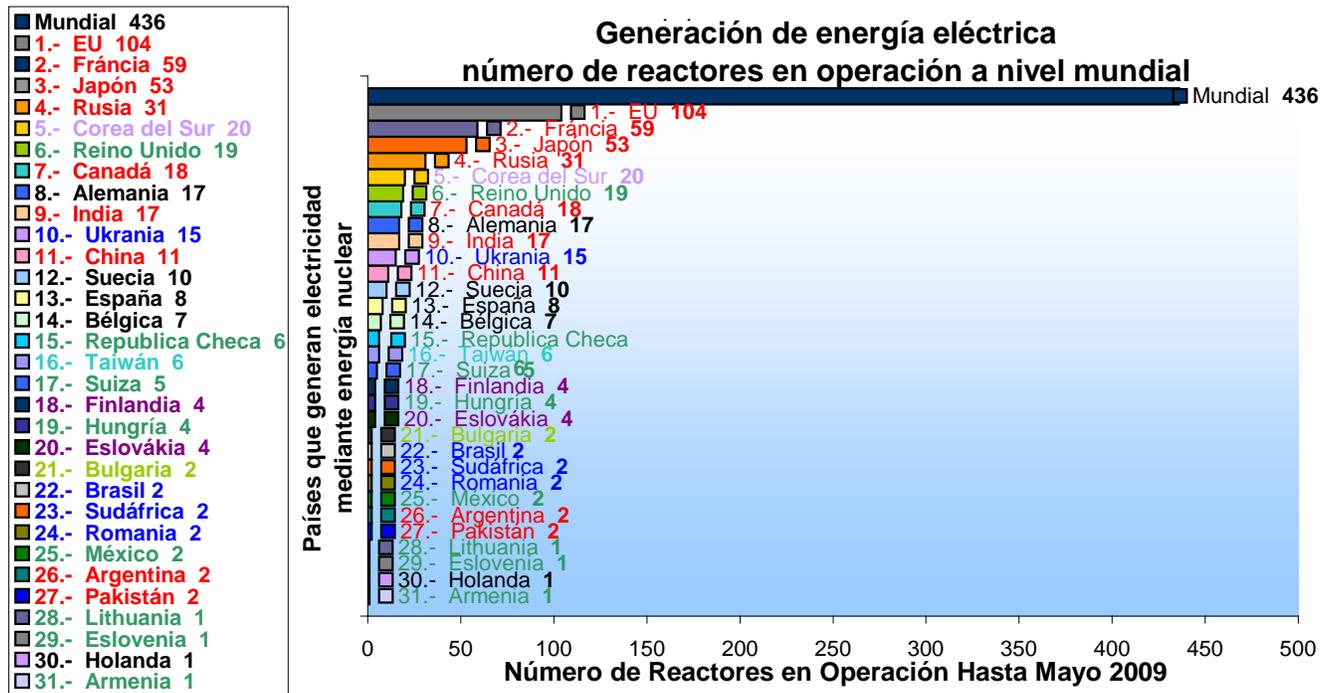
La energía de origen nuclear es utilizada como fuente de generación de energía eléctrica a gran escala esto se observa principalmente en países con escasas fuentes naturales de generación de electricidad, como es el Norte de Europa y Asia, cubriendo una gran parte de las necesidades de la demanda energética considerada como demanda base.



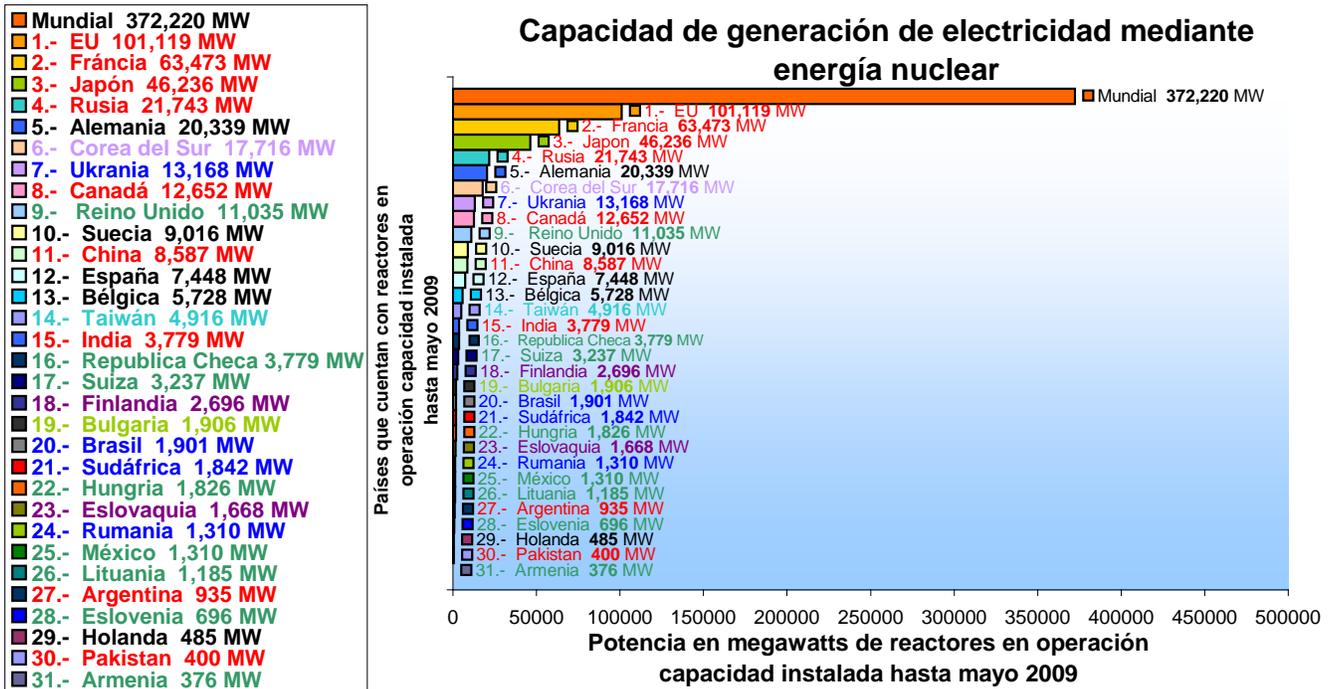
Capitulo 4



Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo



Cap. 4 Fig. 2 Número de reactores en operación (fuente: WNA, 2009).

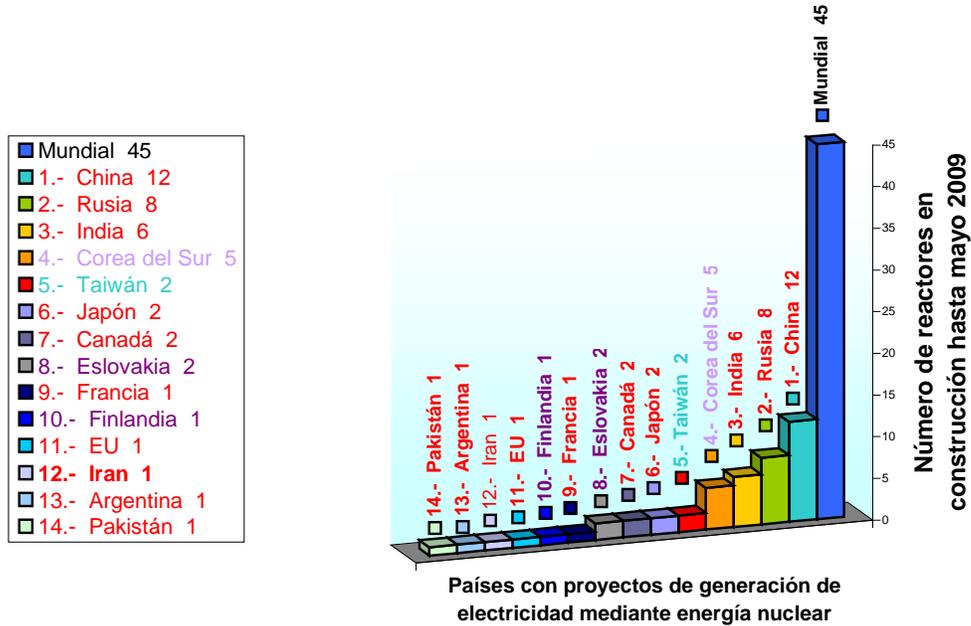


Cap.4 Fig.3 Suma de la capacidad nuclear instalada hasta mayo del 2009 (fuente: WNA, 2009).



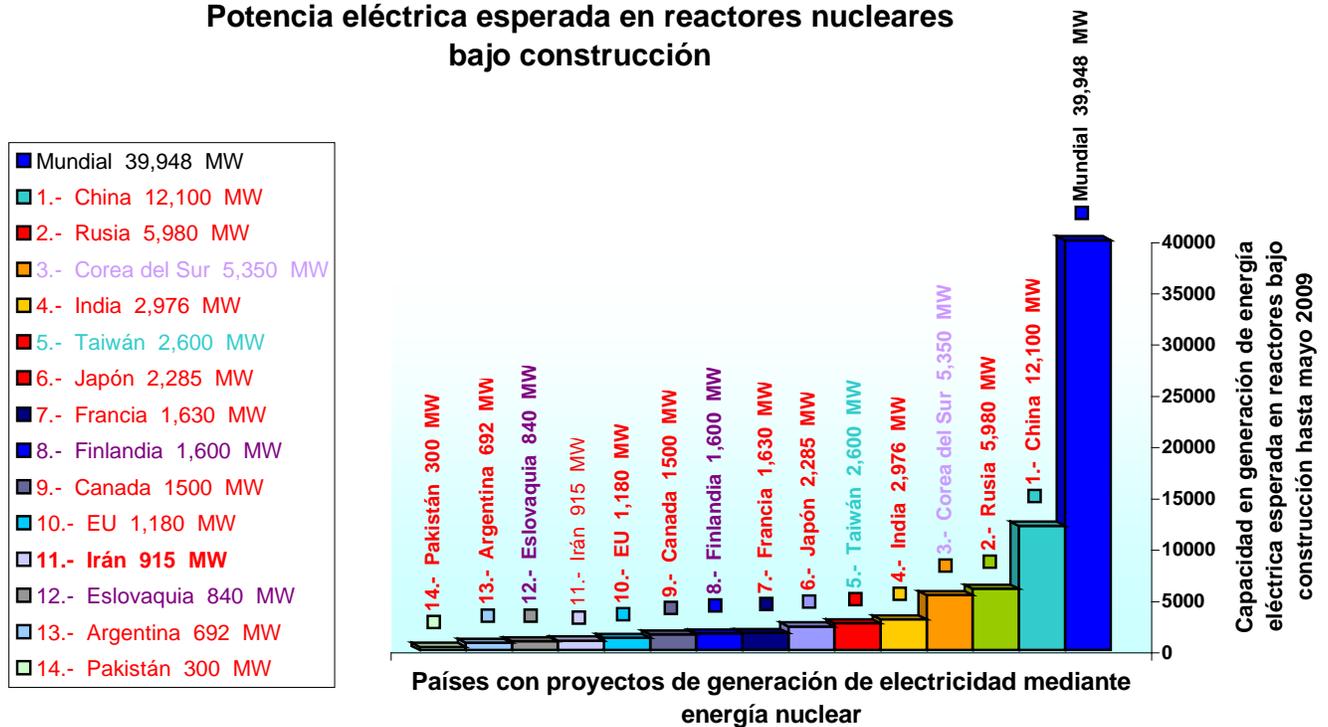
Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

Generación de electricidad mediante energía nuclear
países con reactores en construcción



Cap.4 Fig.4 Países con reactores nucleares en construcción hasta mayo del 2009.

Potencia eléctrica esperada en reactores nucleares
bajo construcción



Cap.4 Fig.5 Potencia eléctrica esperada en países con reactores nucleares en construcción.



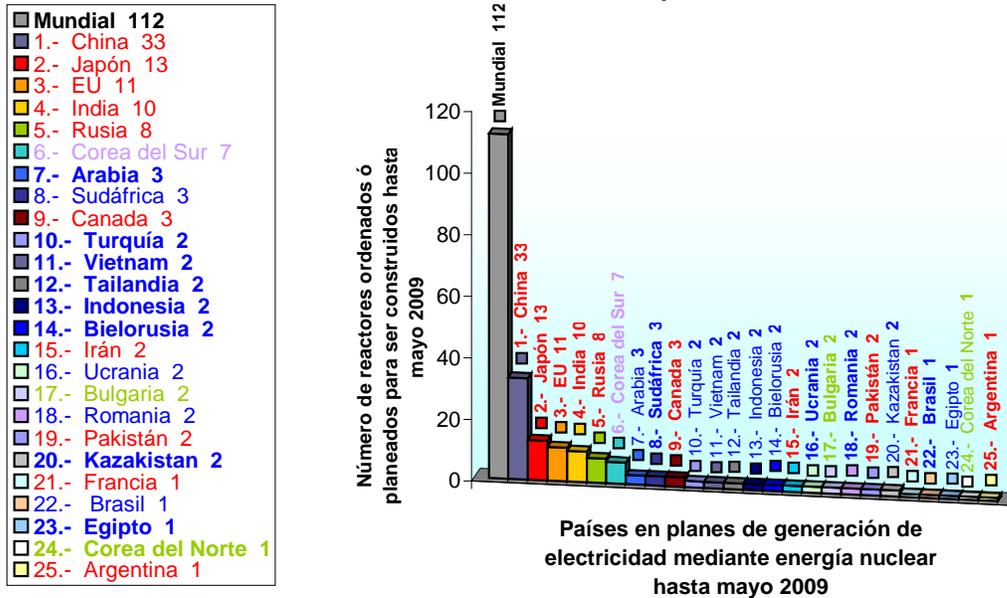
Capítulo 4

Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo



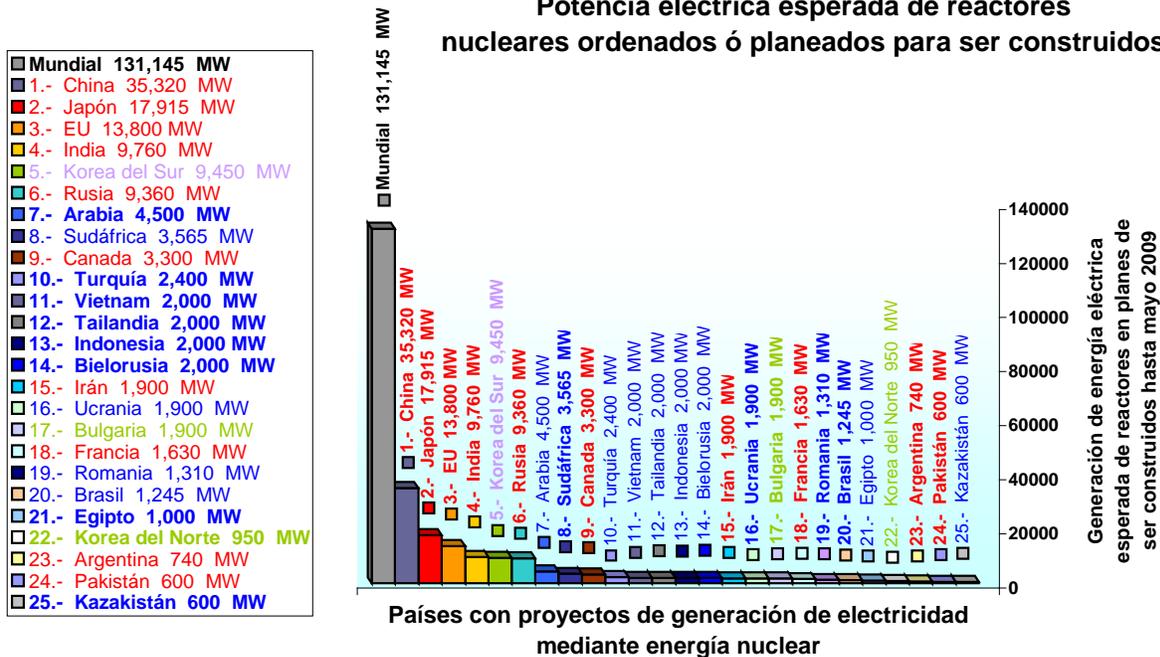
Número y capacidad de reactores en construcción, donde el concreto del contenedor primario se ha vertido incluyendo los reactores que son reemplazados al término de su vida útil (fuente: WNA, 2009).

Países que ordenaron ó planearon para construcción reactores nucleares de potencia



Cap.4 Fig.6 Países que han ordenado la construcción de reactores nucleares de potencia.

Potencia eléctrica esperada de reactores nucleares ordenados ó planeados para ser construidos



Cap.4 Fig.7 Potencia esperada en reactores nucleares ordenados para su construcción.



Capítulo 4

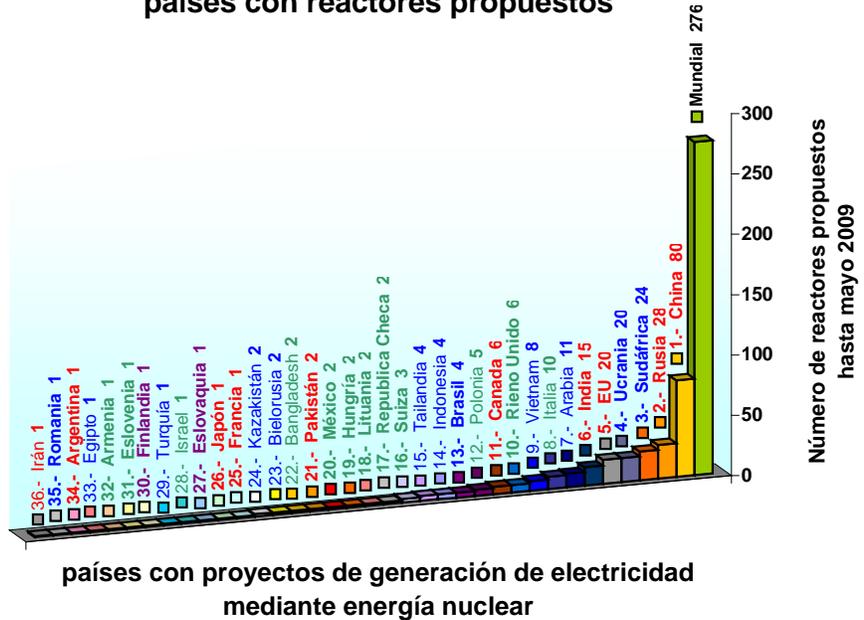


Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

Número y capacidad de reactores planificados, que son aquellos que cuentan con la aprobación y financiamiento de los países donde van a ser instalados. (fuente: WNA, 2009).

- Mundial 276
- 1.- China 80
- 2.- Rusia 28
- 3.- Sudáfrica 24
- 4.- Ucrania 20
- 5.- EU 20
- 6.- India 15
- 7.- Arabia 11
- 8.- Italia 10
- 9.- Vietnam 8
- 10.- Rieno Unido 6
- 11.- Canada 6
- 12.- Polonia 5
- 13.- Brasil 4
- 14.- Indonesia 4
- 15.- Tailandia 4
- 16.- Suiza 3
- 17.- Republica Checa 2
- 18.- Lituania 2
- 19.- Hungría 2
- 20.- México 2
- 21.- Pakistán 2
- 22.- Bangladesh 2
- 23.- Bielorusia 2
- 24.- Kazakistán 2
- 25.- Francia 1
- 26.- Japón 1
- 27.- Eslovaquia 1
- 28.- Israel 1
- 29.- Turquía 1
- 30.- Finlandia 1
- 31.- Eslovenia 1
- 32.- Armenia 1
- 33.- Egipto 1
- 34.- Argentina 1
- 35.- Rumania 1
- 36.- Irán 1

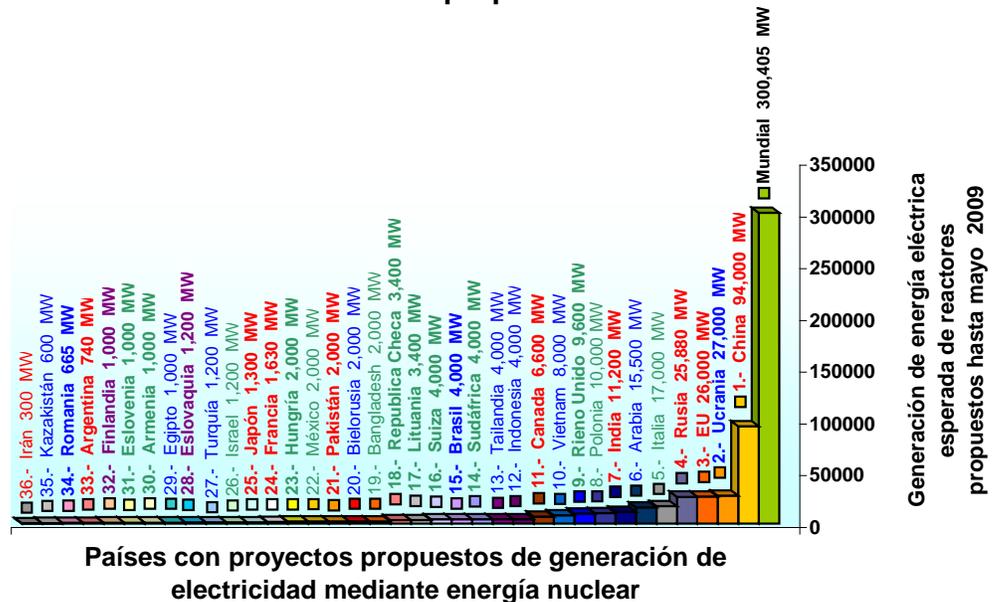
Generación de electricidad mediante energía nuclear países con reactores propuestos



Cap. 4 Fig. 8: Países con reactores nucleares propuestos para su construcción.

- Mundial 300,405 MW
- 1.- China 94,000 MW
- 2.- Ucrania 27,000 MW
- 3.- EU 26,000 MW
- 4.- Rusia 25,880 MW
- 5.- Italia 17,000 MW
- 6.- Arabia 15,500 MW
- 7.- India 11,200 MW
- 8.- Polonia 10,000 MW
- 9.- Rieno Unido 9,600 MW
- 10.- Vietnam 8,000 MW
- 11.- Canada 6,600 MW
- 12.- Indonesia 4,000 MW
- 13.- Tailandia 4,000 MW
- 14.- Sudáfrica 4,000 MW
- 15.- Brasil 4,000 MW
- 16.- Suiza 4,000 MW
- 17.- Lituania 3,400 MW
- 18.- Republica Checa 3,400 MW
- 19.- Bangladesh 2,000 MW
- 20.- Bielorusia 2,000 MW
- 21.- Pakistán 2,000 MW
- 22.- México 2,000 MW
- 23.- Hungría 2,000 MW
- 24.- Francia 1,630 MW
- 25.- Japón 1,300 MW
- 26.- Israel 1,200 MW
- 27.- Turquía 1,200 MW
- 28.- Eslovaquia 1,200 MW
- 29.- Egipto 1,000 MW
- 30.- Armenia 1,000 MW
- 31.- Eslovenia 1,000 MW
- 32.- Finlandia 1,000 MW
- 33.- Argentina 740 MW
- 34.- Rumania 665 MW
- 35.- Kazakistán 600 MW
- 36.- Irán 300 MW

Generación de energía eléctrica esperada de reactores propuestos



Cap.4 Fig.9 Potencia esperada en reactores nucleares propuestos para su construcción.



Número y capacidad de reactores propuestos, aquellos que aún no cuentan con la aprobación y / o financiamiento del país. (fuente: WNA, 2009).

Además países como India, Rusia, EU y China, aumentaran su producción de energía eléctrica, por medio de la energía nuclear, incrementando el número de reactores en construcción durante el 2009 con una capacidad de generación desde 11,200 hasta 94,000 MW, respectivamente.

Otros países como Eslovenia, Armenia, Israel, Hungría y México construirán reactores, con la intención de incrementar la producción de energía eléctrica entre los 500 MW hasta los 2000 MW.

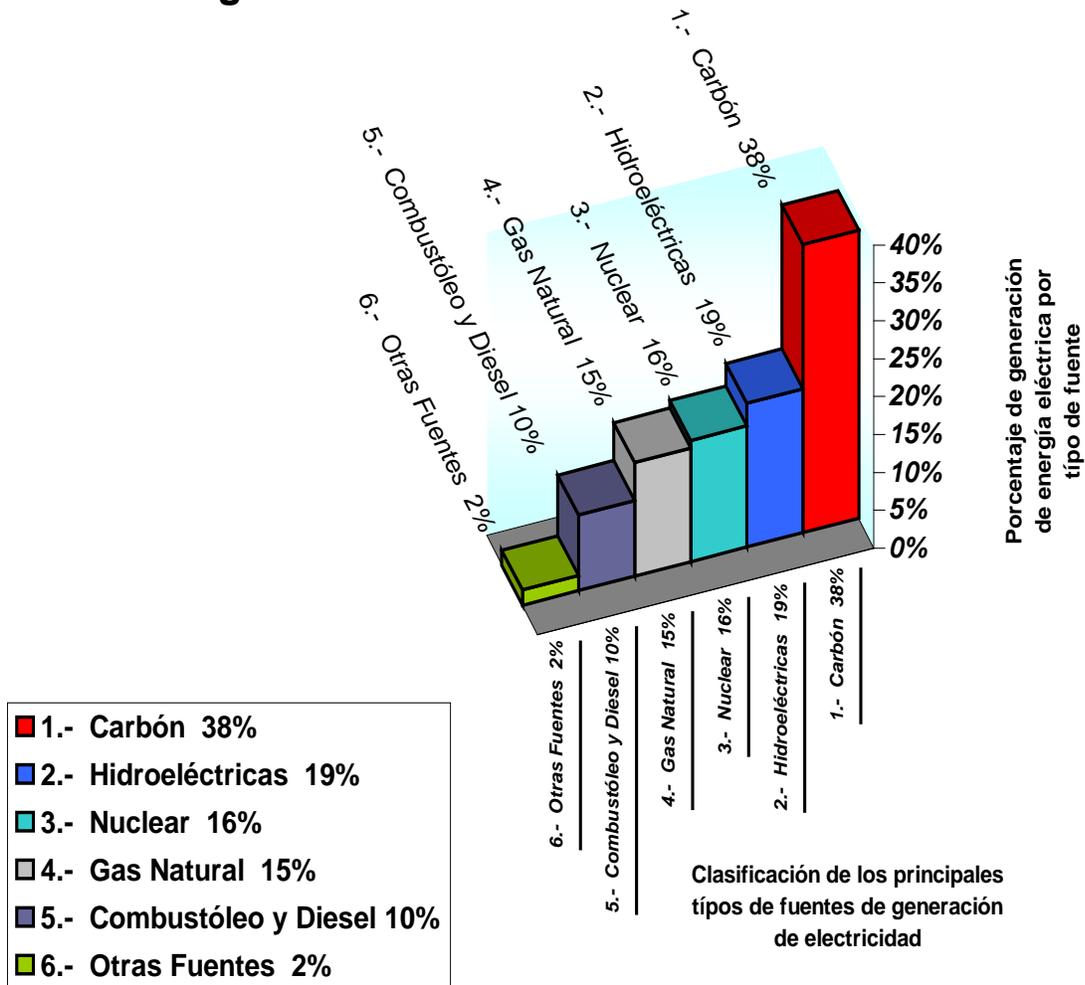
4.2 Comparación entre los principales tipos de fuentes de generación de electricidad y expectativas

La energía nuclear ha demostrado ser una importante fuente de generación de energía eléctrica, aumentando cada vez más la importante aportación entre los diferentes tipos de combustibles, como el carbón que aporta aproximadamente el 38% de energía o derivados del petróleo como el combustóleo y diesel con un aporte aproximado del 10%, o el gas natural que aporta un 15% de la energía eléctrica, destacando las centrales hidroeléctricas que aportan el 19% de la electricidad total generada mundialmente.

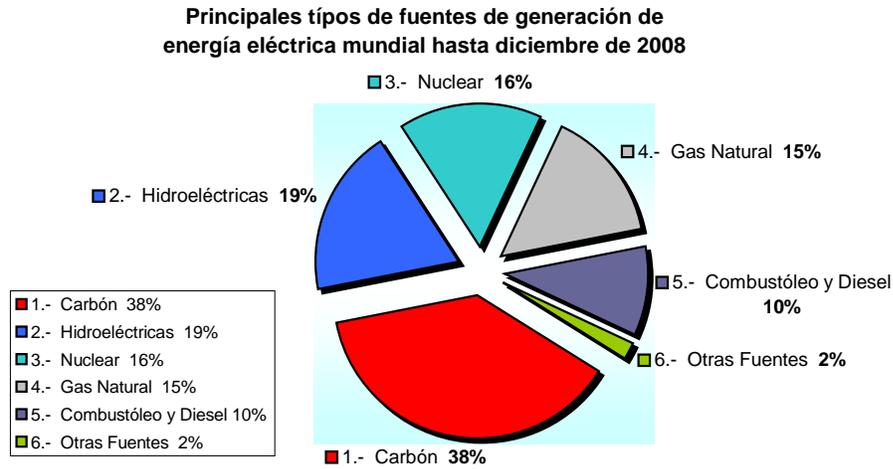
Además de otras fuentes naturales de energía renovables, como son (geotérmicas, eólicas, solares, maremotrices etc.) que aportan el 2% de la energía eléctrica total generada mundialmente, siendo la energía nuclear fuente de generación adicional y un factor importantísimo en la contribución del abastecimiento a las necesidades energéticas a nivel mundial, contribuyendo aproximadamente con el 16% de la energía eléctrica que se consume alrededor del mundo.



Principales tipos de fuentes de generación de energía eléctrica mundial hasta diciembre de 2008



Cap.4 Fig.10 Principales tipos de fuentes de generación de energía eléctrica a nivel mundial.



Cap.4 Fig.11 Principales tipos de fuentes de generación de energía eléctrica a nivel mundial.

En la actualidad la energía nuclear es una de las fuentes de generación mas recomendables, tomando en cuenta el porcentaje de energía eléctrica generada mediante plantas nucleares que es del 16% en comparación con el 15% generado por plantas termoeléctricas y de ciclo combinado que consumen como fuente primaria de generación gas natural, debido sobre todo al incremento en el costo de este tipo particular de combustible y en general de los derivados del petróleo como (Combustóleo y Diesel) que generan el 10%, siendo que en los últimos años ha aumentado su valor mas del doble, provocando una crisis energética a nivel mundial a corto mediano y largo plazo.

La energía de origen nuclear también es utilizada como medio de generación adicional complementando la energía eléctrica generada por plantas cuya fuente principal de abastecimiento la constituyen los combustibles fósiles o hidrocarburos como son combustóleo diesel y gas natural, que se consideran fuentes de generación de energía eléctrica confiables, debido en gran parte a su disponibilidad y eficacia en el suministro de energía, pero por ser fuentes de generación de energía eléctrica que provocan un daño ecológico importante, se emplean principalmente en las horas de mayor demanda de carga eléctrica.

A partir de la década de los 80's la demanda de energía eléctrica en el mundo ha tenido un incremento mayor al 50%, debido en gran parte al aumento de la población a nivel mundial y mayores expectativas de vida conforme a la expansión del las grandes ciudades, reflejado en gran medida en el ámbito cultural y económico principalmente en países Europeos, donde el acceso a la información mediante la mayor expansión de la tecnología aumenta las posibilidades de una economía estable y por consecuencia mayor demanda de energía como medio de sustentación de un mayor nivel social y económico.

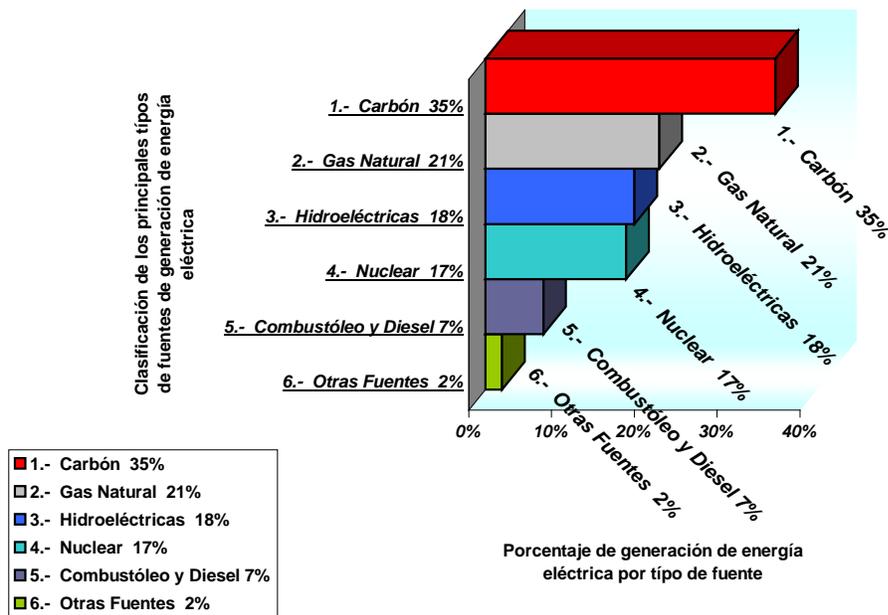


Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

Analizando la aportación de cada uno de los principales tipos de combustibles utilizados en la generación de energía eléctrica, el combustóleo aporta aproximadamente el 10% de la energía eléctrica generada en países desarrollados como: Corea del Sur, Japón, Canadá, E.U.A., Reino Unido y Rusia, siendo que países como Japón y Corea del Sur, no cuentan con yacimientos de petróleo propios, el petróleo o sus derivados (combustóleo diesel y gas natural) deben ser importados de países productores elevando los costos totales de generación de electricidad, siendo más factible la importación del uranio principal combustible para la generación de energía eléctrica mediante energía nuclear.

Aunque también los países productores de petróleo como E.U.A. y Canadá, utilizan en menor proporción sus propios recursos naturales no renovables empleados escasamente en la producción de electricidad, debido en parte a que son recursos limitados, utilizados en su gran mayoría para procesos industriales indispensables, como es la producción de gasolina y plásticos.

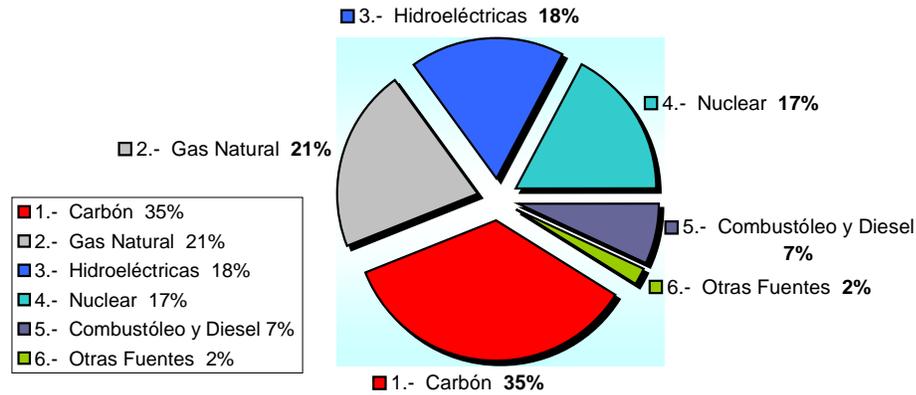
Principales tipos de fuentes de generación de energía eléctrica mundial proyectada hasta el 2020



Cap.4 Fig.12 Principales tipos de fuentes de generación de energía eléctrica a nivel mundial.



Principales tipos de fuentes de generación de energía eléctrica mundial proyectada hasta el 2020



Cap.4 Fig.13 Principales tipos de fuentes de generación de energía eléctrica a nivel mundial proyección hasta el año 2020.

En base al aumento en el consumo de energéticos en la última década se proyecta un incremento en la producción de energía eléctrica del 1.8% por año hasta el 2020, continuando la proyección basada en el incremento de población y mayor demanda de energía se pronostica un crecimiento total de más del 20% hasta el 2020.

En la actualidad cerca de 2 millones de personas no cuentan con abastecimiento de energía eléctrica alrededor del mundo, razón por la cual se estima un incremento de energía eléctrica al cubrir las necesidades energéticas faltantes, además del incremento de población que demandará una mayor producción de energía eléctrica.

Se pronostica además un aumento considerable en el consumo de gas natural como fuente de generación de energía eléctrica, incrementándose el consumo de los demás combustibles en menor proporción, debido a los beneficios energéticos que proporciona este tipo particular de combustible empleado en plantas de ciclo combinado que garantizan una mayor eficiencia a corto plazo y menores tiempos de construcción a bajo costo.

La proyección del consumo energético hasta el 2020 nos muestra un elevado incremento en el consumo de gas natural debido a la mayor construcción de plantas de ciclo combinado, esto se debe en gran medida al elevado rendimiento que ofrecen las centrales de ciclo combinado en comparación con el máximo aprovechamiento del combustible que consumen. Este tipo de plantas generadoras utilizan principalmente gas natural como fuente de generación de electricidad, contribuyendo en un futuro cercano con un 21% del total de energía eléctrica generada a nivel mundial.



Aun así las plantas generadoras de mayor aportación serán las carboeléctricas con el 35% de generación de electricidad. Por otra parte casi no habrá disminución en la construcción de plantas hidroeléctricas cuya aportación será del 18% de la energía eléctrica generada a nivel mundial, la producción de energía en plantas nucleoeeléctricas percibirá un leve incremento aportando el 17% de la electricidad en el mundo, las plantas termoeléctricas cuya fuente de generación de energía son el combustóleo y el diesel disminuirán produciendo el 7% de la electricidad. Esta disminución en el consumo de hidrocarburos se debe principalmente a que se espera un incremento en el costo del petróleo y sus derivados mundialmente a corto plazo, esto está basado en la cada vez mayor dificultad de extracción de este recurso no renovable además de un incremento sostenido por parte de Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP). Por último los demás tipos de plantas generadoras aportarán en conjunto el 2% de la energía eléctrica que se consume mundialmente.

En México se realizará el reemplazo de unidades generadoras de energía eléctrica que utilicen como fuente de generación combustóleo y diesel por unidades de ciclo combinado que consuman gas natural como combustible base, realizando todas las modificaciones necesarias, reemplazo y mantenimiento de equipo aumentando en la medida de lo posible la generación de energía eléctrica.

4.3 Panorama de la generación de energía eléctrica en México

Actualmente existen en México dos empresas estatales de energía eléctrica: Luz y Fuerza del Centro (LyFC) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE) quienes, garantizan el acceso de energía eléctrica al 97 % de la población mexicana. Ambas empresas públicas son descentralizadas, con personalidad jurídica y patrimonio propio. La CFE genera, transmite, distribuye y comercializa energía eléctrica con alrededor de 900 mil nuevos clientes cada año. La CFE ha unificado los criterios técnicos y económicos del Sistema Eléctrico Nacional, normalizando los voltajes de operación para estandarizar los equipos, reducir sus costos y los tiempos de fabricación, almacenaje e inventariado. Ha unificado también la frecuencia a 60 hertz en todo el país y se han integrado los sistemas de transmisión en el Sistema Interconectado Nacional. Aunque a través del Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) se garantiza la seguridad, calidad y economía del suministro de energía eléctrica en el Sistema Eléctrico Nacional.

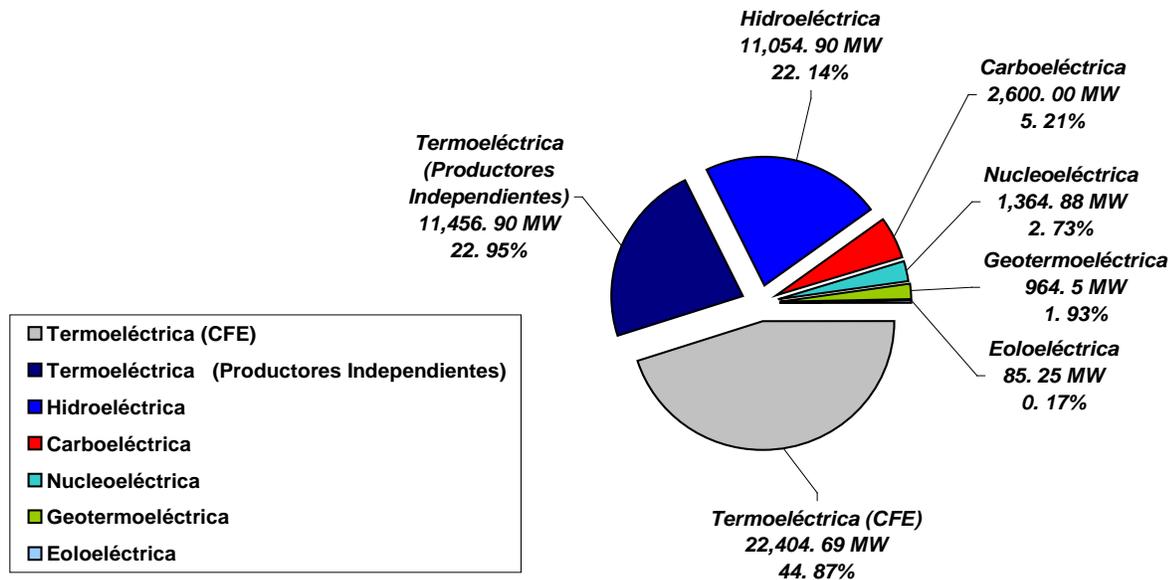


Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

La CFE genera energía por medio de las Tecnologías: termoeléctrica, hidroeléctrica, Carboeléctrica, Nucleoeléctrica, Geotermoeléctrica y eoloeléctrica. Hasta el mes de Mayo del 2009 la CFE cuenta con una capacidad efectiva instalada para generar energía eléctrica de 49,931.12 MW que se dividen de la siguiente forma:

- 1) Centrales Termoeléctricas de la CFE: 22,404. 69 MW.
- 2) Centrales Termoeléctricas de Productores Independientes de Energía (PIE): 11,456. 90 MW. Básicamente por empresas trasnacionales extranjeras, quienes generan el 22.95 % del total de la capacidad efectiva instalada de energía con 21 centrales en operación comercial, la mayoría a partir del año 2000. Es decir, en tan sólo 9 años las trasnacionales generaron alrededor de 10 mil MW mientras que la CFE sólo aumentó su producción en 2,714.83 MW, en el mismo período.
- 3) Centrales Hidroeléctricas: 11,054. 90 MW.
- 4) Centrales Carboeléctricas: 2,600. 00 MW.
- 5) Central Nucleoeléctrica: 1,364. 88 MW. Ésta es la Central de Laguna Verde.
- 6) Centrales Geotérmicas: 964. 50 MW.
- 7) Central Eoloeléctrica: 85. 25 MW.

Porcentaje de capacidad de generación de energía eléctrica en México clasificación por tipo de planta generadora



Cap.4 Fig.14 Capacidad efectiva y porcentaje de generación por tipo de tecnología instalada al mes de mayo del 2009 (el porcentaje de generación nuclear disminuye en proporción al mayor número de centrales termoeléctricas instaladas en México).

Cifras a Mayo de 2009 (El Porcentaje Total de Generación de Energía Eléctrica es de 17.32 TWh de los cuales 11.32 TWh pertenecen a CFE y 6.0 TWh son generados por PIE'S, en cuanto a la capacidad Termoeléctrica Hasta el mes de Mayo del 2009 fue de 38,790. 97 MW que representa el 67. 82% de la capacidad total instalada en México con una generación de 15.31 TWh. Además del total de Capacidad efectiva instalada 38,473. 53 MW pertenecen a CFE y 11,456.90 MW pertenecen a **Productores Independientes de Energía (PIE'S)**, que cuentan con 21 Centrales de ciclo combinado las cuales son: Mérida III, Río Bravo II (Anáhuac), Hermosillo, Saltillo, Bajío (El Sauz), Tuxpan II, Monterrey III, Altamira, Tuxpan III y IV, Campeche, Mexicali, Chihuahua III, Naco-Nogales, Altamira III y IV, Río Bravo III, La Laguna II, Río Bravo IV, Valladolid III, Tuxpan V, Altamira V y Tamazunchale.



Capítulo 4



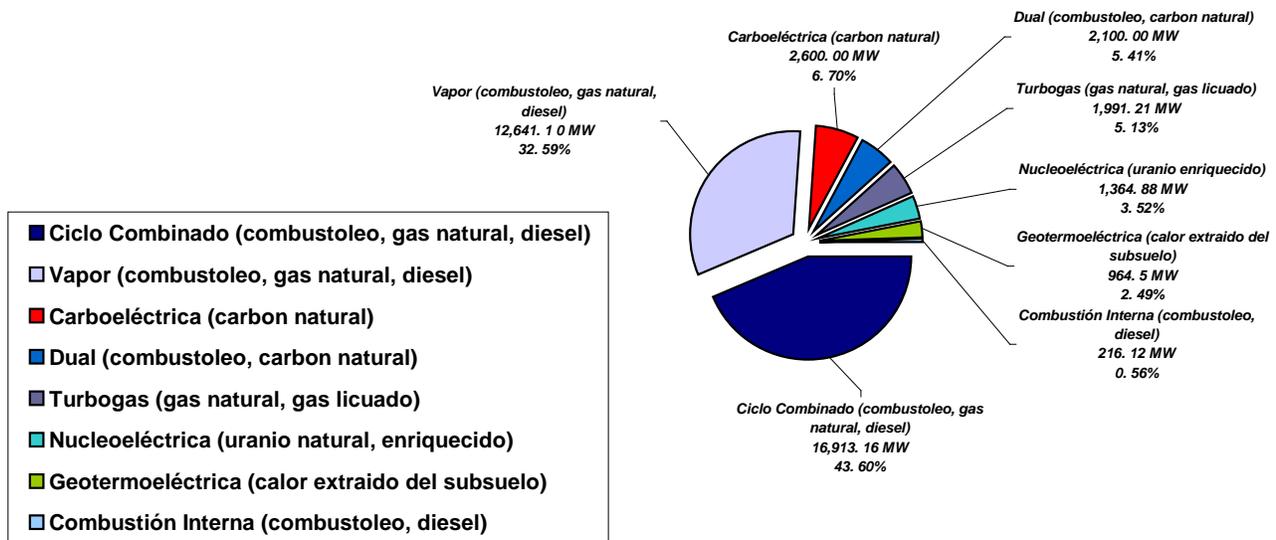
Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Capacidad (MW)	CFE	33,920	33,944	34,384	34,839	34,901	36,236	36,855	36,971	38,422	37,325	37,470	38,397	38,474
	PIE'S	-	-	-	-	484	1,455	3,495	6,756	7,265	8,251	10,387	11,457	11,457
	Total	33,920	33,944	34,384	34,839	35,385	37,691	40,350	43,727	45,687	45,576	47,857	49,854	49,931
Generación (TWh)	CFE	149.97	159.83	168.98	179.07	188.79	190.88	177.05	169.32	159.53	170.07	162.47	157.51	157.16
	PIE'S	-	-	-	-	1.20	4.04	21.83	31.62	45.85	45.56	59.43	70.98	74.23
	Total	149.97	159.83	168.98	179.07	190.00	194.92	198.88	200.94	205.39	215.63	221.90	228.49	231.40

Cap.4 Tabla 1 Capacidad efectiva instalada y generación de energía eléctrica total en México

De la capacidad efectiva instalada de generación de energía eléctrica en México, 22.95% de la energía corresponde a Productores Externos de Energía (PEE's), lo que incluye 21 centrales en operación comercial. Para cumplir con el objetivo de CFE de cubrir las necesidades de energía del país, se ha ido aumentando la capacidad de generación de electricidad bajo el esquema PEE's (Productores Externos de Energía) ó productores independientes de energía eléctrica (PIE's). Para el cierre de mayo de 2009, la capacidad efectiva instalada de cada uno de estos tipos de generación termoeléctrica, es la siguiente:

Capacidad de generación de energía eléctrica instalada en México MW* clasificación por tipo de tecnología termoeléctrica (fuente: CFE, 2009)



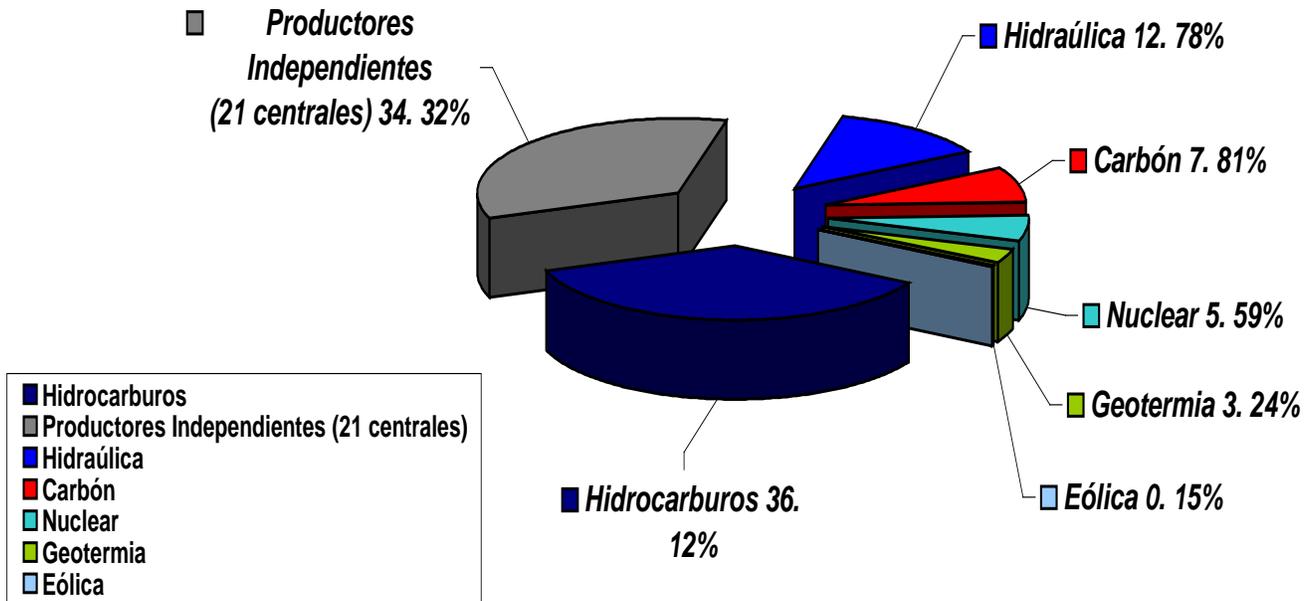
Cap.4 Fig.15 * Cifras a mayo de 2009, capacidad efectiva instalada en México

<u>Tipo de tecnología termoeléctrica</u>	<u>Capacidad en MW</u>
Vapor	12,641.10
Dual	2,100.00
Carboeléctrica	2,600.00
Ciclo Combinado	16,913.16
Geotermoeléctrica	964.50
Turbogás	1,991.21
Combustión Interna	216.12
Nucleoeléctrica	1,364.88
Total	38,790.97

Cap.4 Tabla 2 Capacidad efectiva instalada en MW por tipo de tecnología de generación al mes de mayo de 2009.



Porcentaje de energía eléctrica generada en México clasificación por tipo de fuente de generación hasta diciembre de 2008



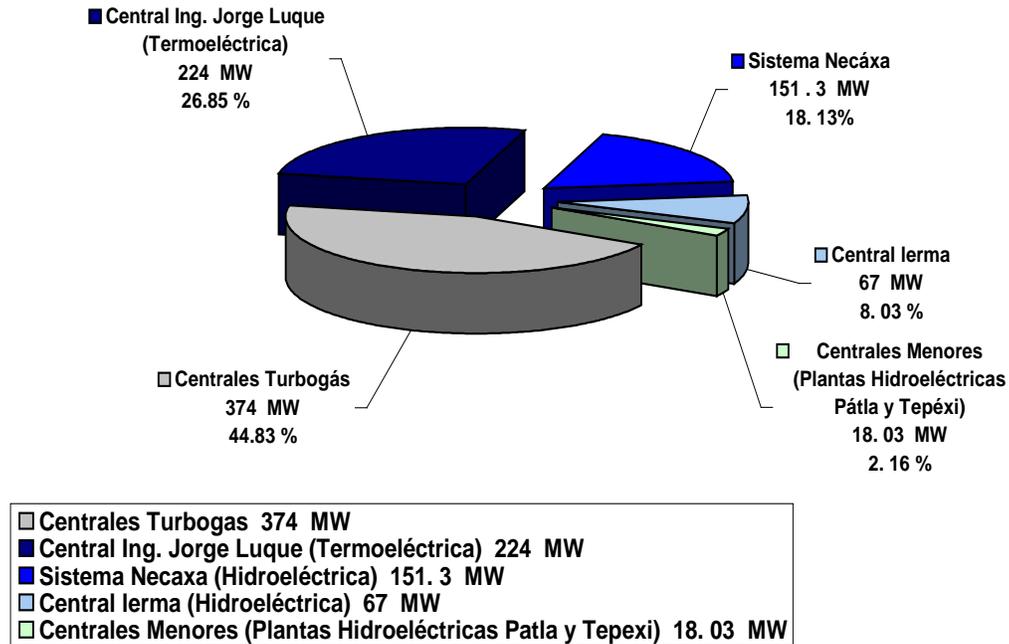
Cap.4 Fig.16 * Cifras a diciembre de 2008, porcentaje de energía eléctrica generada por tipo de fuente

<u>Tipo de fuente de generación</u>	<u>Porcentaje de energía eléctrica generada hasta diciembre del 2008</u>
<i>Geotermia</i>	3.24%
<i>Carbón</i>	7.81%
<i>Nuclear</i>	5.59%
<i>Eólica</i>	0.15%
<i>Productores Independientes (21centrales)</i>	34.32%
<i>Hidráulica</i>	12.78%
<i>Hidrocarburos</i>	36.12%

Cap.4 Tabla 3 porcentaje por tipo de fuente de generación al mes de diciembre de 2008. (fuente: CFE, 2008)



Capacidad de generación de energía eléctrica instalada por LyFC (fuente: LyFC, 2008)



Cap.4 Fig.17 Capacidad efectiva instalada por LyFC.

CENTRALES DE LyFC	CAPACIDAD INSTALADA (MW)	Porcentaje de capacidad de generación
Centrales Turbogás	374	44,83%
Central Ing. Jorge Luque (Termoeléctrica)	224	26,85%
Sistema Necaxa (Hidroeléctrica)	151,3	18,13%
Central Ierma (Hidroeléctrica)	67	8,03%
Centrales Menores (Plantas Hidroeléctricas Patla y Tepexi)	18,03	2,16%
Total	834,33	100%

Cap.4 Tabla 4 Capacidad instalada y porcentajes de capacidad de generación de LyFC en México.



Capítulo 4



Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

Desde las modificaciones a la ley del servicio público de energía eléctrica, llevada a cabo en 1992, el sector privado en la generación de energía eléctrica en México ha crecido sustancialmente, especialmente el extranjero, bajo la figura de productores externos de energía, autoabastecimiento, cogeneración, importación y exportación.

En 1997, la Comisión Reguladora de Energía (CRE) otorgó el primer permiso bajo la modalidad de productor independiente a la trasnacional estadounidense AES para la planta Mérida III por una capacidad de 532 MW, cuya entrada en operación fue en 2000, año en que los permisos en esa modalidad era de 6 mil 200 MW, y cuatro años más tarde, la capacidad aumentó al doble. En 2004 la capacidad autorizada fue de 12,557 MW.

Actualmente el capital privado tiene una capacidad de generación de 21,468 MW, equivalente al 46.5 % del total de la energía eléctrica que se produce en México, con un total de 494 permisos vigentes en las diversas modalidades como producción independiente, cogeneración y autoabastecimiento, entre otras figuras según la Secretaría de Energía (Sener).

De ellos el 93.7 % están en operación con una capacidad de 16,801 MW. Para los permisos vigentes la participación del gas natural es de 87.2 % y un 4.3 % en combustóleo, el segundo combustible de importancia.

A inicios del 2009 existen 21 centrales de producción independiente de energía, en operación con una capacidad autorizada de 11 mil 478 MW. La producción independiente opera con tecnología de ciclo combinado, utilizando gas natural. Esta modalidad genera 61.34 % de energía eléctrica respecto del total de generación producida por los permisionarios (Productores Independientes de Energía).

Los Proyectos de Impacto Diferido en el Registro del Gasto (PIDIREGAS), que CFE convoca mediante los procedimientos de obra pública financiada y de productor independiente de energía, es una forma de financiar infraestructura con deuda diferida a pagar en los próximos años.

Gracias a este sistema el gobierno niega el crecimiento actual del endeudamiento difiriendo el pago para las próximas administraciones. De acuerdo con la paraestatal, se hace uso de esa energía siempre y cuando la demanda de energía eléctrica del país lo requiera, lo que significa que las plantas privadas podrían estar operando a menos del 100% de su capacidad, sin que se les pueda penalizar.

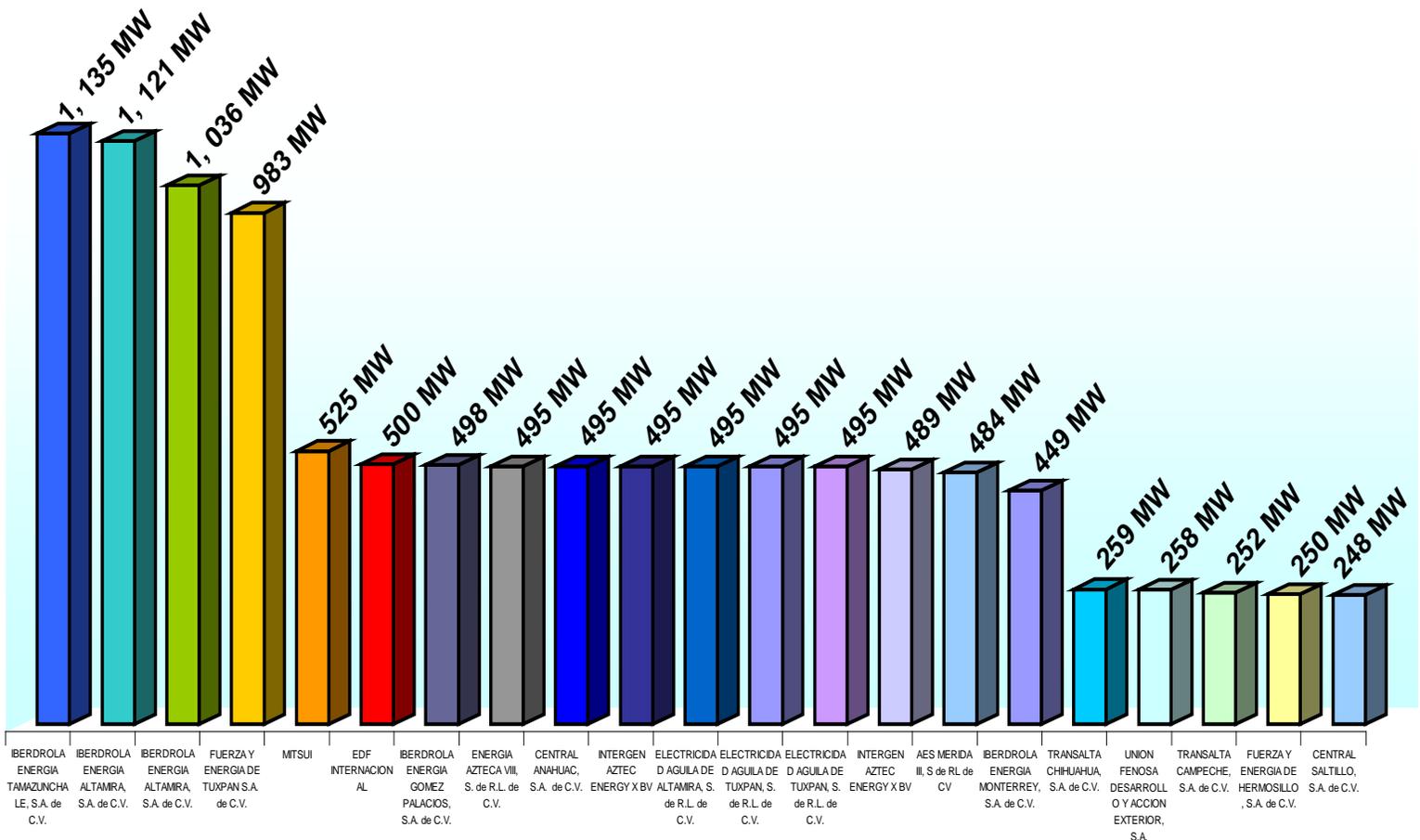
En la actualidad la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y compañía de Luz y Fuerza del Centro (LyFC) son las únicas empresas paraestatales encargadas del abastecimiento de energía eléctrica en México, que incluye generación, transmisión y distribución.



Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

A pesar de esto, el gobierno federal fomenta la participación de los Productores Independientes de Energía (PIE), reformando en 1992 las normas legales de la industria eléctrica incluyendo la participación del sector energético privado, de esta forma existen proyectos desarrollados por proveedores particulares que se encuentran en operación en construcción y en planes de ser construidos, esto ya se había llevado a cabo anteriormente desde el 22 de Dic de 1975 cuando se publicó en el Diario Oficial de la Federación, la Ley del Servicio Publico de Energía Eléctrica en donde se contemplan diversas modalidades de generación de energía entre las que destacan; la producción independiente, el autoabastecimiento, la cogeneración y la pequeña producción.

Participación del sector energético privado
capacidad de generación de energía eléctrica desarrollada por empresas particulares



Cap.4 Fig.18 Participación del sector eléctrico privado en la generación de energía eléctrica.



Capítulo 4



Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

Central	Permisionaria	Productor independiente de energía	Capacidad de generación demostrada en MW	Lugar de operación	Combustible utilizado	Tecnología	Inicio de operación comercial
Tamazunchale	IBERDROLA ENERGIA TAMAZUNCHALE, S.A. de C.V.	IBERDROLA ENERGIA, S.A.	1135	Tamazunchale, San Luis Potosí	<u>gas natural</u>	Ciclo Combinado	01-06-07
Altamira V	IBERDROLA ENERGIA ALTAMIRA, S.A. de C.V.	IBERDROLA ENERGIA, S.A.	1121	Altamira, Tamaulipas	<u>gas natural</u>	Ciclo Combinado	01-11-06
Altamira III y IV	IBERDROLA ENERGIA ALTAMIRA, S.A. de C.V.	IBERDROLA ENERGIA, S.A.	1036	Altamira, Tamaulipas	<u>gas natural</u>	Ciclo Combinado	24-12-03
Tuxpan III y IV	FUERZA Y ENERGIA DE TUXPAN S.A. de C.V.	UNION FENOSA DESARROLLO Y ACCION EXTERIOR, S.A.	983	Tuxpan, Veracruz	<u>gas natural</u>	Ciclo Combinado	23-05-03
Valladolid III	MITSUI	MITSUI	525	Valladolid, Yucatán	<u>gas natural</u>	Ciclo Combinado	01-06-06
Río Bravo IV	EDF INTERNACIONAL	EDF INTERNATIONAL	500	Valle Hermoso, Tamaulipas	<u>gas natural</u>	Ciclo Combinado	01-04-05
La Laguna II	IBERDROLA ENERGIA GOMEZ PALACIOS, S.A. de C.V.	IBERDROLA ENERGIA, S.A.	498	Gómez Palacios, Durango	<u>gas natural / diesel</u>	Ciclo Combinado	22-04-05
El Sauz (Bajío)	ENERGIA AZTECA VIII, S. de R.L. de C.V.	INTERGEN AZTEC ENERGY VIII B. V.	495	S. Luis de la Paz, Guanajuato	<u>gas natural</u>	Ciclo Combinado	09-03-02
Río Bravo II (Anahuac)	CENTRAL ANAHUAC, S.A. de C.V.	EDF INTERNATIONAL	495	Valle Hermoso, Tamaulipas	<u>gas natural</u>	Ciclo Combinado	18-01-02
Río Bravo III	INTERGEN AZTEC ENERGY X BV	INTERGEN AZTEC ENERGY VIII B. V. EX. EDF INTERNACIONAL	495	Valle Hermoso, Tamaulipas	<u>gas natural / diesel</u>	Ciclo Combinado	01-04-04
Altamira II	ELECTRICIDAD AGUILA DE ALTAMIRA, S. de R.L. de C.V.	MITSUBISHI CORPORATION	495	Altamira, Tamaulipas	<u>gas natural / diesel</u>	Ciclo Combinado	14-05-02
Tuxpan II	ELECTRICIDAD AGUILA DE TUXPAN, S. de R.L. de C.V.	MITSUBISHI CORPORATION Y EDF INTERNACIONAL	495	Tuxpan, Veracruz	<u>gas natural</u>	Ciclo Combinado	15-12-01
Tuxpan V	ELECTRICIDAD AGUILA DE TUXPAN, S. de R.L. de C.V.	MITSUBISHI CORPORATION	495	Tuxpan, Veracruz	<u>gas natural</u>	Ciclo Combinado	01-09-06
Mexicali (Rosarito IV)	INTERGEN AZTEC ENERGY X BV	INTERGEN	489	Mexicali, Baja California	<u>gas natural</u>	Ciclo Combinado	20-07-03
Mérida III	AES MERIDA III, S de RL de CV	AES CORPORATION / NICHIMEN CORPORATION / GRUPO HERMES, S.A de C.V.	484	Mérida, Yucatán	<u>gas natural</u>	Ciclo Combinado	09-06-00
Monterrey III	IBERDROLA ENERGIA MONTERREY, S.A. de C.V.	IBERDROLA ENERGIA, S.A.	449	Monterrey, Nuevo León	<u>gas natural / diesel</u>	Ciclo Combinado	27-03-02
Chihuahua III	TRANSALTA CHIHUAHUA, S.A. de C.V.	TRANSALTA	259	Cd. Juárez, Chihuahua	<u>gas natural</u>	Ciclo Combinado	09-09-03
Naco Nogales	UNION FENOSA DESARROLLO Y ACCION EXTERIOR, S.A.	UNION FENOSA	258	Agua prieta, Sonora	<u>gas natural</u>	Ciclo Combinado	04-10-03
Campeche	TRANSALTA CAMPECHE, S.A. de C.V.	TRANSALTA	252	Empalizada, Campeche	<u>gas natural</u>	Ciclo Combinado	27-06-03
Hermosillo	FUERZA Y ENERGIA DE HERMOSILLO, S.A. de C.V.	UNION FENOSA	250	Hermosillo, Sonora	<u>gas natural</u>	Ciclo Combinado	01-10-01
Saltillo	CENTRAL SALTILLO, S.A. de C.V.	EDF INTERNATIONAL	248	Ramos Arispe, Coahuila	<u>gas natural</u>	Ciclo Combinado	19-11-01
Total			11457				

Cap.4 Tabla 5 Participación de productores independientes de energía (secretaría de energía/SENER,2008)



Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

Aunque desde entonces existían estas opciones de generación de energía eléctrica se tenían ciertas limitaciones, con la finalidad de evitar el enriquecimiento ilícito de empresas particulares por medio de un servicio publico fundamental para el desarrollo del país.

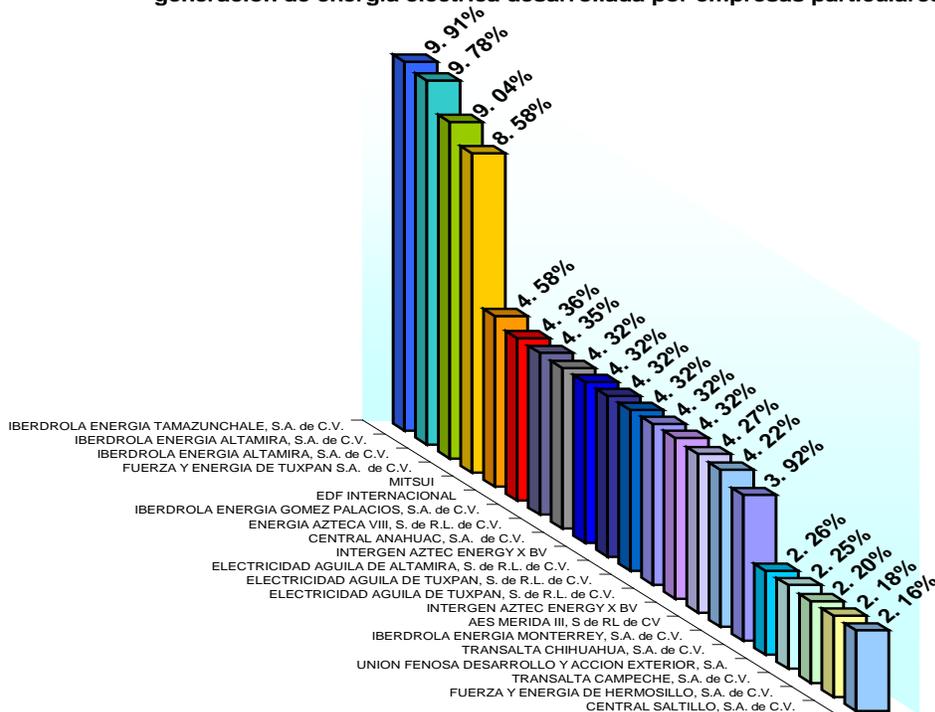
Las reformas a los artículos 27 y 28 constitucionales en materia de energía contemplaron incluir la participación del sector privado, con esta reforma las empresas particulares pueden generar energía eléctrica para consumo propio con la posibilidad de que puedan vender el suministro de energía eléctrica a otras empresas particulares que lo soliciten aunque limitados a cierta capacidad autorizada, el suministro de energía eléctrica al resto de la población, será realizado únicamente por las compañías paraestatales CFE y LyFC, quedando el servicio publico de generación de energía eléctrica siempre a cargo del estado.

En lo que refiere a la energía nuclear en México, la estructura de generación de electricidad mediante fuentes nucleares esta definida de la siguiente forma.

En conformidad con la ley, la construcción y operación de toda central nucleoelectrica en México se encuentra exclusivamente a cargo de CFE, como lo dictamina el artículo 15, capitulo III, del artículo 27 de la ley reglamentaria en materia de lo nuclear:

La generación de energía eléctrica mediante el uso de combustibles nucleares se llevara a cabo exclusivamente por CFE, en lo que corresponde a la comisión el diseño y construcción de centrales nucleoelectricas tomando en cuenta la opinión del ININ y cumpliendo con lo dispuesto por la CNSNS.

Participación del sector energético privado generación de energía eléctrica desarrollada por empresas particulares





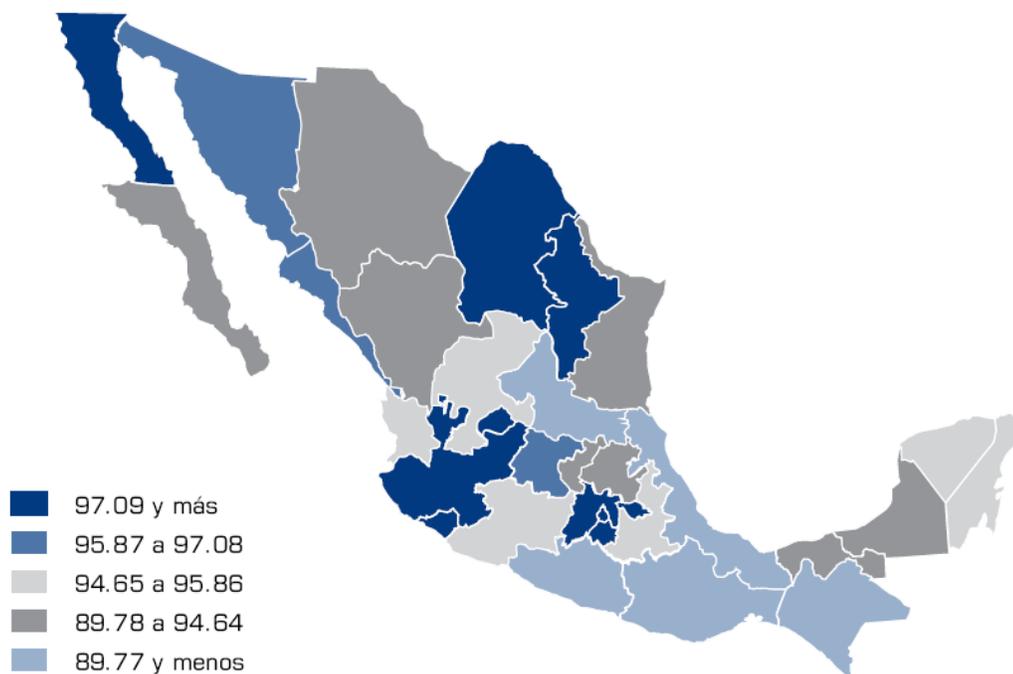
Cap.4 Fig.19 Porcentaje de participación del sector energético privado en la generación de energía eléctrica en México.

4.4 Expectativas del sistema eléctrico nacional

Basados en el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (POISE) resultado de estudios dentro de la planificación integral del sistema eléctrico del país, describiremos brevemente la evolución del mercado eléctrico, así como la expansión de la capacidad de generación y transmisión del Sistema Eléctrico Nacional para satisfacer la demanda de electricidad en los próximos años.

En los próximos años, la CFE planteó invertir US\$ 47.000. La generación representaría el 49% de la inversión para llegar a una capacidad instalada de 25.018 MW por medio de 64 proyectos. La transmisión y distribución representarían un 18 % cada una y el mantenimiento el 15 %.

Cobertura del Sistema Eléctrico Nacional



Cap.4 Fig. 20 Porcentaje de cobertura del sistema eléctrico nacional hasta el 2008 (fuente: SEN, 2008).

La infraestructura eléctrica requerida por el Sistema Eléctrico Nacional para cumplir con la futura demanda de energía eléctrica se llevará a cabo mediante proyectos conocidos como Capacidad Adicional a corto plazo, (comprometida), que incluye proyectos en construcción, en licitación y programados.

Entre estos proyectos previstos para el futuro abastecimiento energético no se encuentran centrales nucleoelectricas en planes de construcción a corto plazo, en su mayoría se



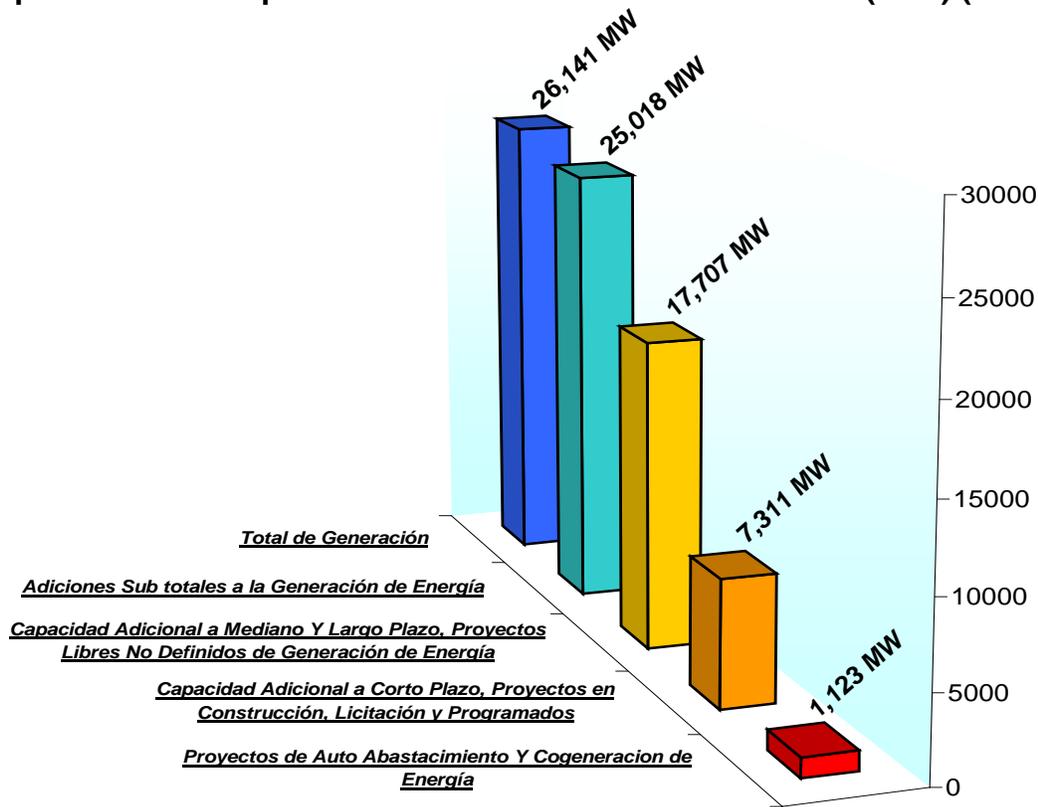
Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

encuentran plantas de ciclo combinado, otros proyectos considerados son, plantas hidroeléctricas, geotérmicas, de combustión interna y duales.

Existen otro tipo de obras que se consideran dentro de la capacidad adicional a mediano y largo plazo, (no comprometida), que se consideran obras sin esquemas definidos y que no han concursado para su licitación, dentro de este tipo de obras es donde se considera a la energía nuclear con un proyecto de construcción a mediano plazo.

En los próximos años el Sector Eléctrico Nacional requerirá un aumento de generación de 25,018 MW de los que 7,311 MW serán obtenidos a partir proyectos programados y 17,707 MW se obtendrán mediante proyectos no definidos.

Espectativas de expansión del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) (fuente: SENER 2008)



Cap.4 Fig.21 Expectativas de expansión del Sistema Eléctrico Nacional mediante proyectos de generación de energía eléctrica a corto mediano y largo plazo.

Los proyectos de capacidad adicional no comprometida son el resultado de estudios de planificación, donde la tecnología de los proyectos libres se definirá posteriormente. Algunas opciones posibles son: ciclo combinado (utilizando gas natural, gas natural licuado, diesel combustoleo etc.), carboeléctrica, nucleoelectrica, eoloelectrica, geotermoeléctrica, hidroeléctrica o importación de energía. Existe además capacidad a mediano plazo de autoabastecimiento y cogeneración que se considera integrar para el abastecimiento del



Capítulo 4



Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

sistema eléctrico nacional del 2008-2015 con una capacidad de generación de 1,123 MW todo esto con el fin de obtener una capacidad de generación total de 26,141 MW.

Para el 2009, se planean 2.037 MW que se dividirían en 700 MW para la Carboeléctrica del Pacífico, 469 MW para el proyecto de ciclo combinado Agua Prieta II, así como una capacidad de ciclo combinado de 440 MW para un sitio no especificado en el norte del país y una capacidad de ciclo combinado de 428 MW en la zona central.

Para el 2010 se contempla la planta de ciclo combinado de 1.046 MW Tamazunchale II, un proyecto de ciclo combinado de 550 MW en el oeste del país y un segundo proyecto de ciclo combinado de 428 MW en la zona central de México. Entrarán en funcionamiento también los proyectos de ciclo abierto Baja California II de 225 MW y Baja California Sur III de 38 MW, el proyecto eólico de 101 MW La Venta III, y una adición de ciclo combinado de 84 MW a la termoeléctrica Presidente Juárez. La nueva capacidad para el 2010 alcanzaría un total de 2.502 MW.

Para el 2011, se planea el inicio de operaciones de 4.315 MW mediante 10 proyectos: el proyecto eólico de 101 MW La Venta IV, la presa hidroeléctrica La Parota de 900 MW, un proyecto de ciclo combinado de 550 MW en el oeste del país y un proyecto de ciclo combinado de 450 MW en el norte. También se planean proyectos termoeléctricos de tecnología aún no definida en Baja California III (253 MW), Río Bravo V (550 MW), Tamazunchale III (523 MW), al igual que un proyecto de 550 MW en el centro del país y un proyecto de 428 MW en la zona noroeste. Iniciará el proyecto a diesel de 10 MW Santa Rosalía, en el estado de Baja California del Sur.

Para el 2012 la CFE pretende incrementar 600 MW de energía hidroeléctrica, con la expansión de 400 MW de la planta Villita en Michoacán y la rehabilitación por 200 MW de la planta Infiernillo. Cerca de 255 MW de capacidad termoeléctrica de ciclo abierto está destinado a Baja California IV, así como capacidad de ciclo combinado de 550 MW en el oeste del país.

En total son 11 plantas que en conjunto sumarían 4.701 MW las que se contemplan para el 2013: la planta eólica de 101 MW La Venta V, dos proyectos de ciclo combinado de 450 MW en el norte del país y una planta de ciclo combinado de 550 MW en el oeste, además de siete proyectos termoeléctricos cuya tecnología aún no se define. Los siete son Río Bravo IV (512 MW), Pacífico II (700 MW), Baja California Sur V (38 MW), Baja California V (250 MW), una segunda planta de 550 MW en Dos Bocas, 550 MW en la península de Yucatán y otros 550 MW en el centro del país. Hasta el 2013 la CFE planea en principio aumentar la capacidad de proyectos de autosuficiencia en 2.065MW; y que PEMEX proporcione 1.400 MW con cuatro proyectos de 350 MW.

La CFE y las empresas españolas Iberdrola y Gamesa Eólica firmaron en el 2005 un contrato de inversión financiada luego de ganar la licitación para realizar obras asociadas a la central de generación eoloeléctrica La Venta II, en el estado de Oaxaca, que tendría una generación de 83.3 MW, con la instalación de 98 aerogeneradores, y con una inversión de 111.4 millones



de dólares para iniciar sus operaciones en el 2006. Con este contrato, Iberdrola se consolidó en su momento como la principal inversionista privada en el sector eléctrico y como el mayor productor eléctrico sólo después de la CFE.

Las obras consisten en la construcción e instalación de una línea de transmisión de 17.8 kilómetros-circuito, así como dos subestaciones y dos alimentadores. También realizará contratos para las obras complementarias con el fin de conectar la planta al Sistema Eléctrico Nacional.

En enero de 2007 Electricité de France (EDF), empresa estatal francesa, la segunda generadora privada de energía más grande en el país, decidió irse de México. Durante el año llevará a cabo la venta de cinco plantas termoeléctricas de ciclo combinado por los que podría obtener ingresos menores a los mil 400 millones de dólares, y sobre las cuales están interesadas Unión Fenosa, Iberdrola, y su socio en la central que tiene en Altamira, la japonesa Mitsubishi. En México han invertido mil 400 millones de dólares en la construcción de las plantas Saltillo, Río Bravo II, III y IV, así como Altamira II. La primera en entrar en operación fue la central de Saltillo, en 2001, y la última fue Río Bravo IV. Hasta ahora EDF tuvo ingresos por unos 362 millones de euros en el primer semestre del año 2006 (460 millones de dólares) por la venta de electricidad al sistema eléctrico nacional.

Todas las plantas de EDF cuentan con contratos a 25 años y en algunos casos se vencen más allá del 2030, para suministrarle a la CFE una capacidad de hasta dos mil 300 MW, que equivale a 1.5 % de los 154 mil MW de capacidad total que tiene EDF en todo el mundo. Información oficial señala que la empresa es revisada en sus números y contratos por al menos tres compañías de las cuales dos son sus competidoras en el país. La compañía estadounidense AES, el mayor grupo eléctrico del mundo, llegó a un acuerdo para comprar dos plantas de generación eléctrica en Tamuin por 611 millones de dólares (471 millones de euros). Las dos plantas construidas en el 2004, Termoeléctrica del Golfo (TEG) y Termoeléctrica del Peñoles (TEP), son filiales de Exelon Corporation y de ALSTOM. El precio de compra incluye las acciones y la deuda subordinada por importe de 190 millones de dólares, así como nuevas emisiones por 421 millones. Ambas plantas suministran energía a dos de las mayores empresas mexicanas, la cementera CEMEX y la metalúrgica Industrias Peñoles, bajo un contrato de 20 años de vigencia. AES, que opera en 26 países, está presente en México desde el año 2000, cuando construyó la primera planta de generación independiente del país, AES Merida III (ciclo combinado), con capacidad para generar 484 MW con gas natural y diesel.

4.5 Tipos de centrales generadoras y fuentes de energía utilizadas en la expansión del sector eléctrico nacional

Siendo que aun no se han especificado cuales serán los tipos de plantas generadoras de electricidad clasificadas como proyectos de capacidad adicional a mediano y largo plazo,

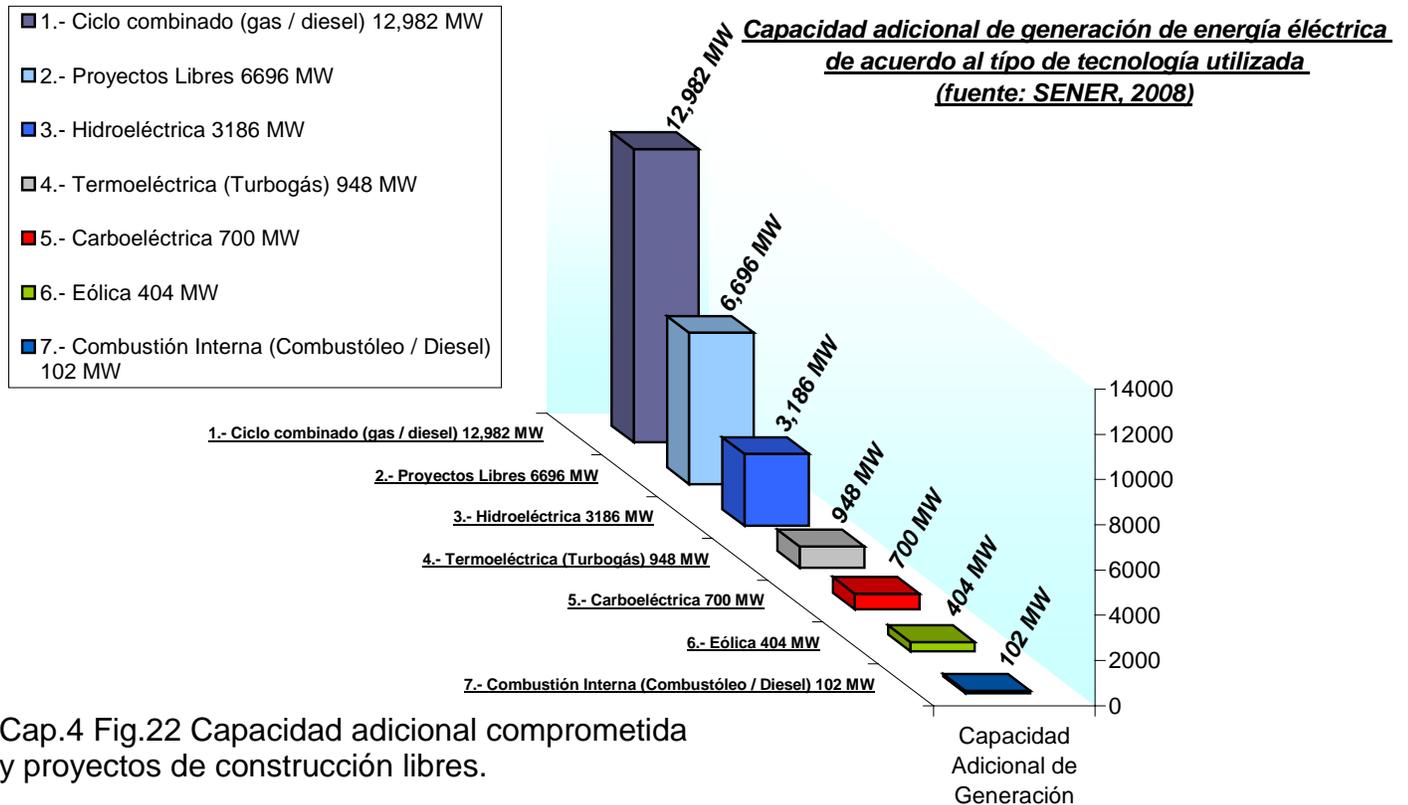


Capítulo 4



Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

existe gran probabilidad de que sean plantas de ciclo combinado, debido a que en la actualidad este tipo de plantas requieren menores costos de inversión y garantizan un mayor rendimiento.



Cap.4 Fig.22 Capacidad adicional comprometida y proyectos de construcción libres.

Tecnología	Capacidad adicional de generación	<u>Combustible utilizado</u>	Porcentaje de generación
Ciclo combinado (gas diesel)	12,982 MW	<u>gas natural</u> / <u>diesel</u> / <u>combustóleo</u>	51.90%
Proyectos Libres	6,696 MW	<u>combustibles fósiles</u> / energía renovable / <u>combustibles nucleares</u>	26.80%
Hidroeléctrica	3,186 MW	movimiento del agua	12.70%
Termoeléctrica (Turbogás)	948 MW	<u>gas natural</u> / <u>diesel</u>	3.80%
Carboeléctrica	700 MW	<u>carbón natural</u>	2.80%
Eólica	404 MW	energía del (viento)	1.60%
Combustión Interna	102 MW	<u>combustóleo</u> / <u>diesel</u>	0.40%



Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

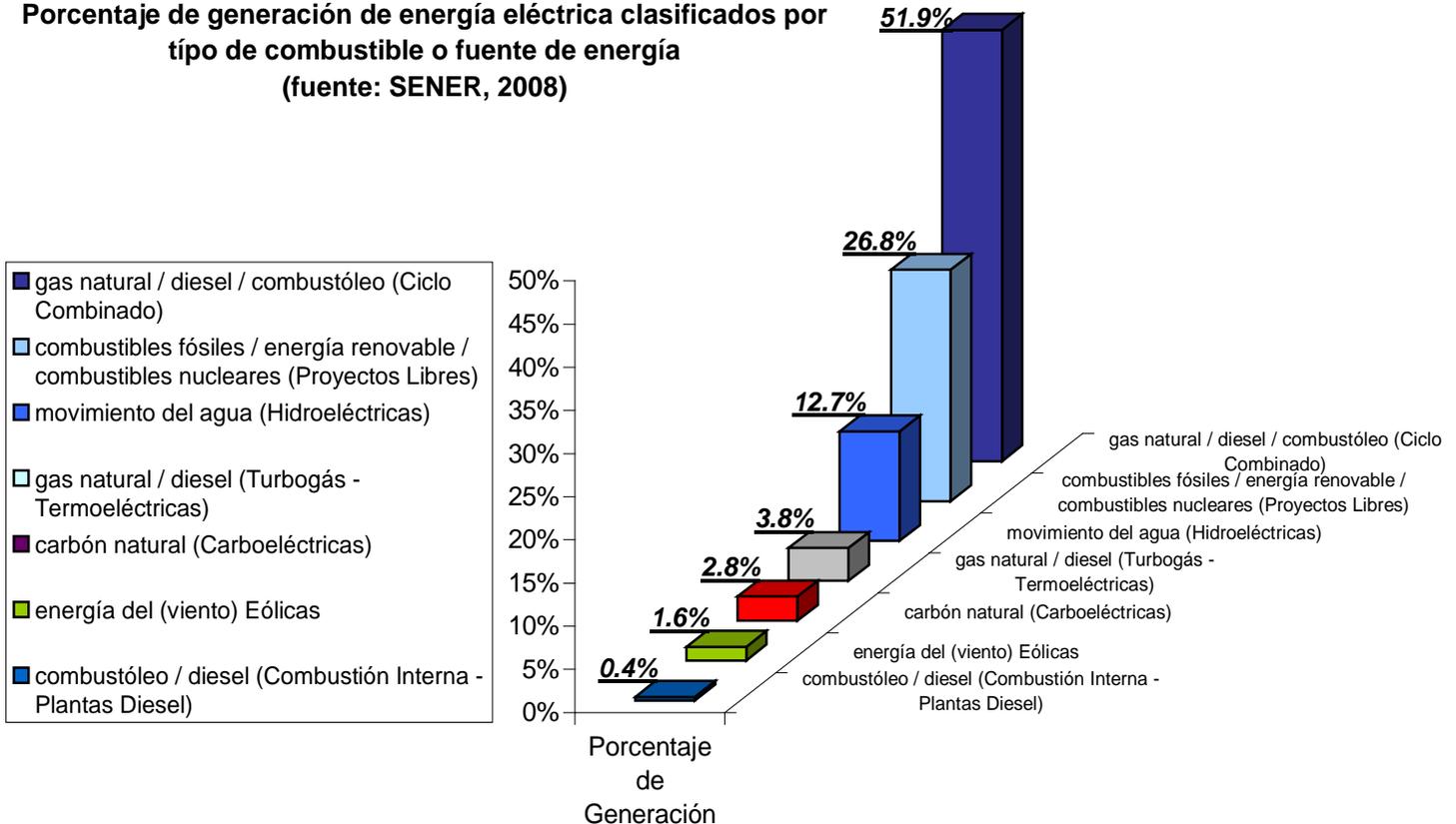
(Combustóleo Diesel)

Cap.4 Tabla 6 Capacidad adicional comprometida por tipo de tecnología utilizada.

A mediano y largo plazo este panorama irá cambiando debido al aumento de los precios del gas natural como combustible principal en las plantas de ciclo combinado (unión de las tecnologías termoeléctrica y turbogás) además de factores ambientales y de escasez de combustibles, que disminuirán las ventajas de las centrales de ciclo combinado.

Existen diversos proyectos de generación de energía que incluyen centrales consideradas libres, donde los desarrolladores proponen el tipo de tecnología y combustible utilizado, componen el 26.8% del total de energía eléctrica generada como capacidad adicional del 2008-2013 agregada al Sistema Eléctrico Nacional, además de los proyectos considerados capacidad adicional segura como son la construcción de centrales de ciclo combinado que representan una energía eléctrica adicional agregada al sistema eléctrico nacional de 51.9%, agregándose también nuevas centrales hidroeléctricas que representan un 12.7% de la generación de energía adicional.

Porcentaje de generación de energía eléctrica clasificados por tipo de combustible o fuente de energía (fuente: SENER, 2008)



Cap.4 Fig.23 Capacidad adicional comprometida por tipo de fuente de generación. Se muestra los proyectos de generación por tipo de tecnología para cubrir las adiciones al SEN sin contar los proyectos de autoabastecimiento (fuente: SENER, 2008).



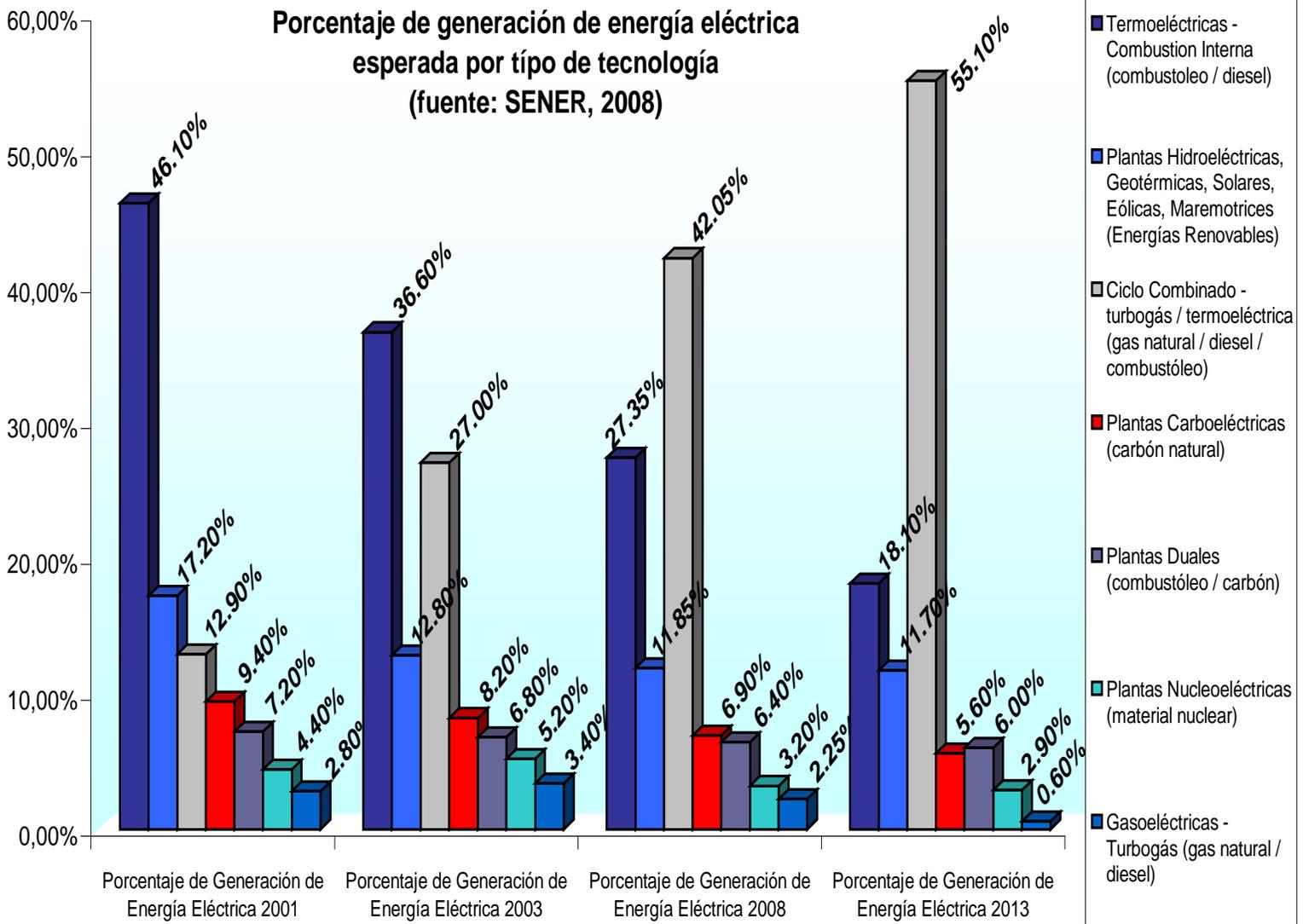
Capítulo 4



Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

A decir verdad las centrales nucleoelectricas representan una buena posibilidad en la generación de los 6,696 MW que harían falta adicionar al Sistema Eléctrico Nacional, correspondientes al tipo de centrales libres dentro de la capacidad adicional no comprometida, proyecto que únicamente CFE tiene la capacidad de desarrollar.

Se calcula que la generación de energía eléctrica total en el sistema eléctrico nacional pasará de 203.6 TWh en 2008 a 346.4 TWh en el 2013.



Cap.4 Fig. 24 Porcentaje de energía eléctrica esperada por tipo de tecnología utilizada.

De acuerdo a diversas proyecciones sobre la generación de energía en plantas de ciclo combinado y debido al consumo de combustibles fósiles del 2008 al 2013 se considera que la mayor parte de la generación de energía libre optara por la construcción de centrales de ciclo combinado, de esta forma la construcción de plantas de ciclo combinado aumentará del 12.9%



al 55.1%, mientras que las centrales termoeléctricas reducirán su construcción de 46.1% a un 18.1%.

México mediante los organismos paraestatales encargados de la expansión del Sector Eléctrico Nacional LyFC, CFE y SENER basan la expansión del sector eléctrico nacional en la mayor construcción de plantas de ciclo combinado, de acuerdo con las tendencias a nivel mundial utilizando como razón principal su bajo costo de inversión, resultando por el momento una opción debido a que el precio del gas natural aun conserva un valor razonable, pero debido a que este valor tiende a incrementarse no resulta lo más conveniente a mediano y largo plazo.

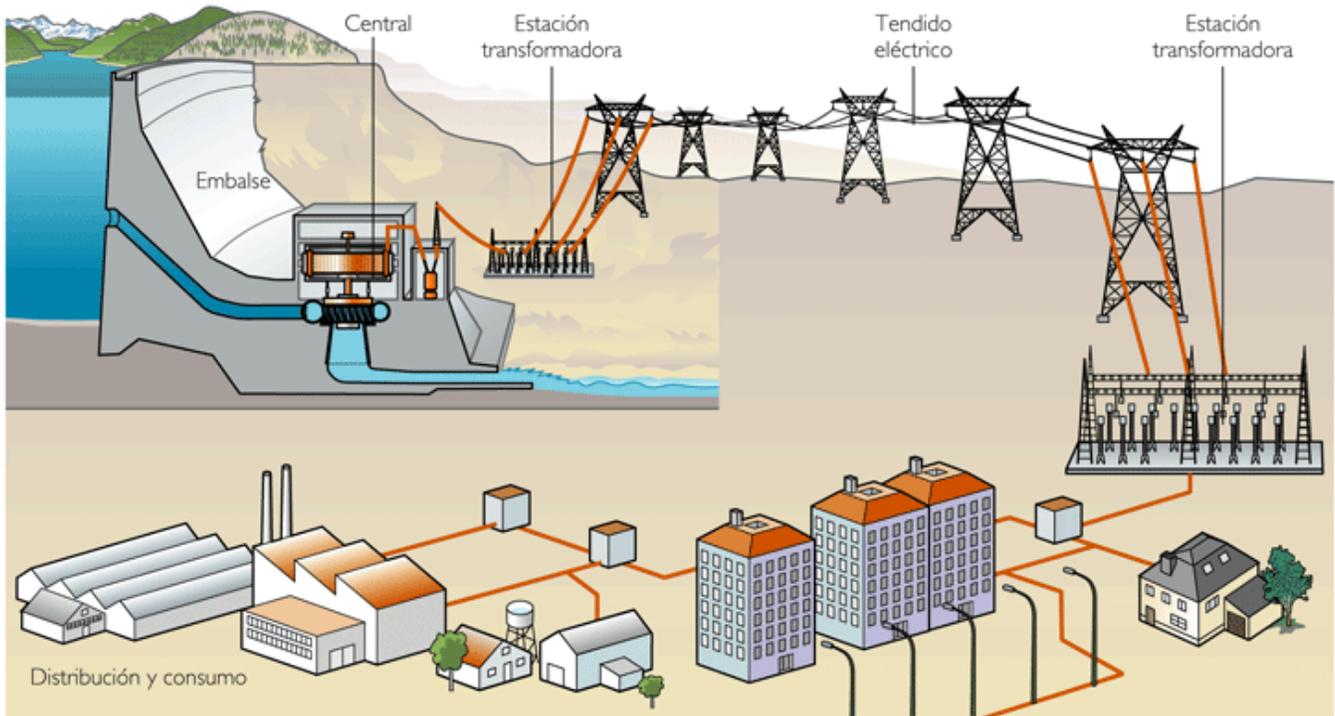
Se recomienda la construcción de una nueva central nucleoelectrica en base al incremento en la demanda de energía tomando en cuenta la escasez de los recursos naturales no renovables llámese (Hidrocarburos y otras fuentes de combustibles derivados), tomando en cuenta además la limitada capacidad de generación de las fuentes naturales renovables a excepción de la energía hidráulica, siendo indispensable cubrir la demanda de energía eléctrica mediante plantas de generación a gran escala que proporcionen la energía eléctrica necesaria para lograr el desarrollo de México.

4.6 Demanda de energía eléctrica en México y principales características de los sistemas eléctricos de potencia

Los sistemas eléctricos de potencia comienzan con la generación de energía eléctrica en las plantas generadoras de energía, la electricidad generada es conducida hasta una subestación eléctrica donde se eleva su voltaje mediante una serie de transformadores elevadores con el propósito de reducir pérdidas, la energía eléctrica de elevado voltaje se conduce a través de grandes distancias mediante las torres de transmisión hasta llegar nuevamente a una subestación eléctrica donde se disminuye su voltaje mediante una serie de transformadores reductores. La energía eléctrica de bajo voltaje es conducida mediante las redes de distribución a las grandes ciudades cumpliendo con la demanda de energía o carga eléctrica, siendo precisamente la demanda de energía eléctrica, la característica más importante de los sistemas eléctricos de potencia, esto quiere decir que dependiendo de la carga eléctrica se diseña la capacidad de los sistemas de potencia y su ubicación, de esta forma se deben comparar los costos y necesidades de cada sistema como son: tipo de combustible utilizado, inversión inicial, operación, y mantenimiento, esto es porque la energía no se puede almacenar.



Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo



Cap.4 Fig.25 Diagrama de un sistema eléctrico de potencia, generación hidroeléctrica (fuente: Autor, 2009).

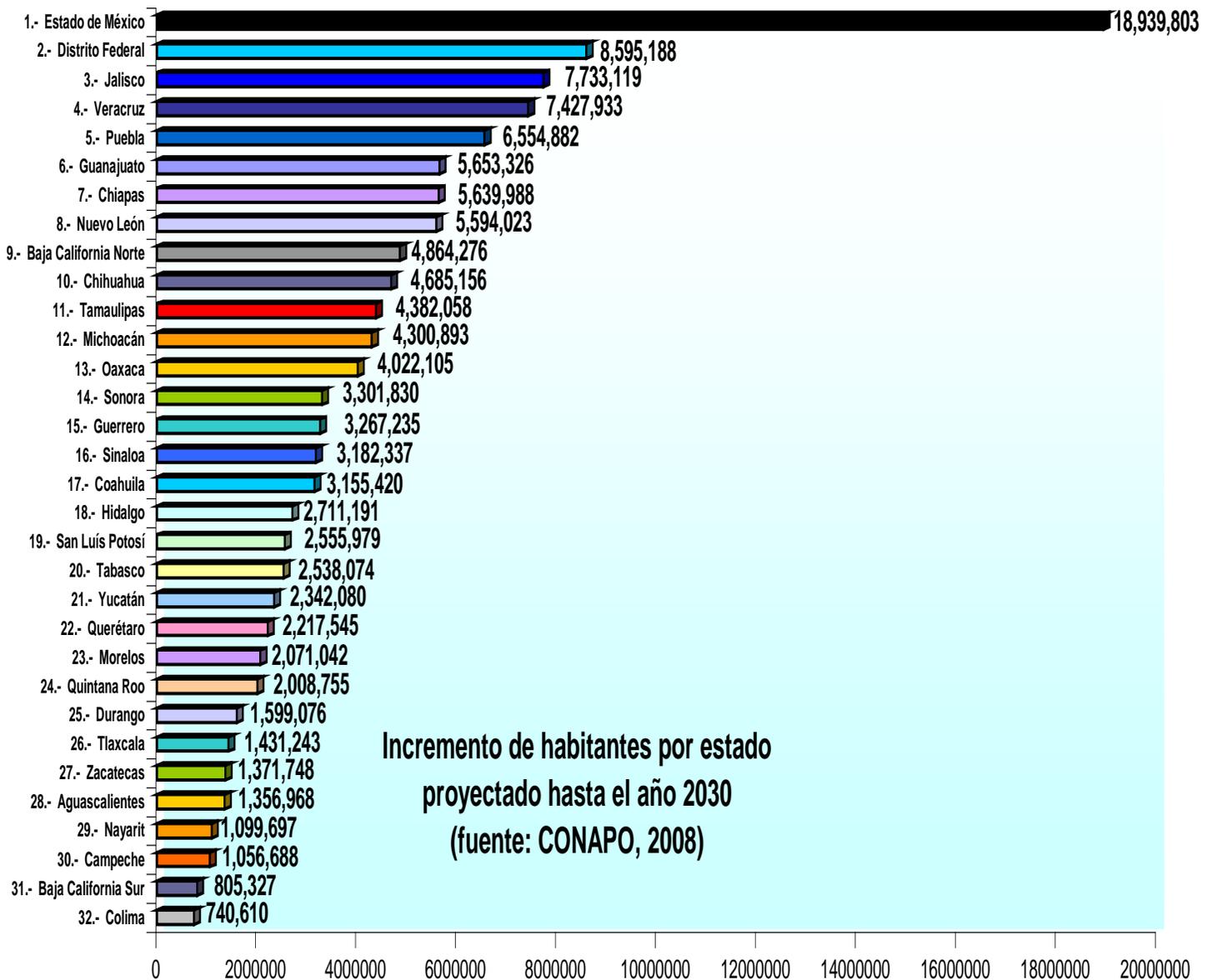
Aunque la carga eléctrica es uno de los factores más impredecibles en un sistema eléctrico de potencia, se puede realizar un estudio de su comportamiento histórico y de esta forma tener un balance de la demanda de energía eléctrica, obteniendo de esta forma el posible comportamiento de la carga, para decidir adecuadamente la ubicación y el tiempo de instalación o ampliación a la capacidad del sistema eléctrico de potencia, este estudio abarca los diversos factores que son determinantes en la construcción, operación y mantenimiento de los principales tipos de plantas generadoras de energía, analizando específicamente qué factores influyen directamente en la decisión de construir una planta nucleoelectrica.

La carga eléctrica es una consecuencia directa del incremento de población y de la cantidad de energía demandada en lo individual y en lo colectivo es por eso que las principales ciudades consumen mayor carga eléctrica a diferencia de poblaciones con menos habitantes, de esta forma es concluyente que en base al incremento de población se basa directamente el incremento de carga eléctrica.



4.7 Determinación de la carga eléctrica y distribución de habitantes en la republica mexicana

En el caso de la construcción de una planta generadora, ya sea nucleoelectrica o de cualquier tipo, la carga se representa por la cantidad de poblacion ubicada en una ciudad o region del pais, siendo el factor mas representativo del crecimiento comercial, industrial, en servicios etc.



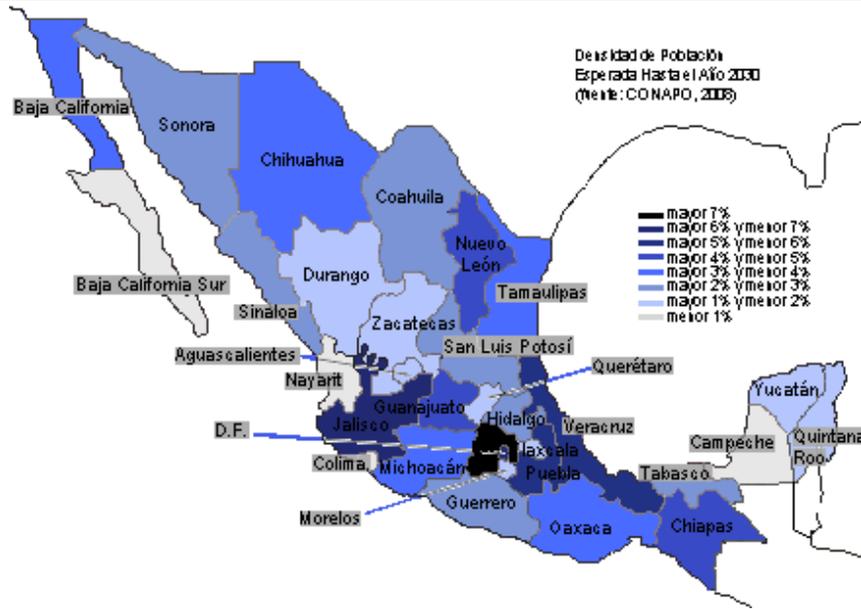
Cap.4 Fig. 26 Aumento del número de habitantes hasta el año 2030.



Capitulo 4

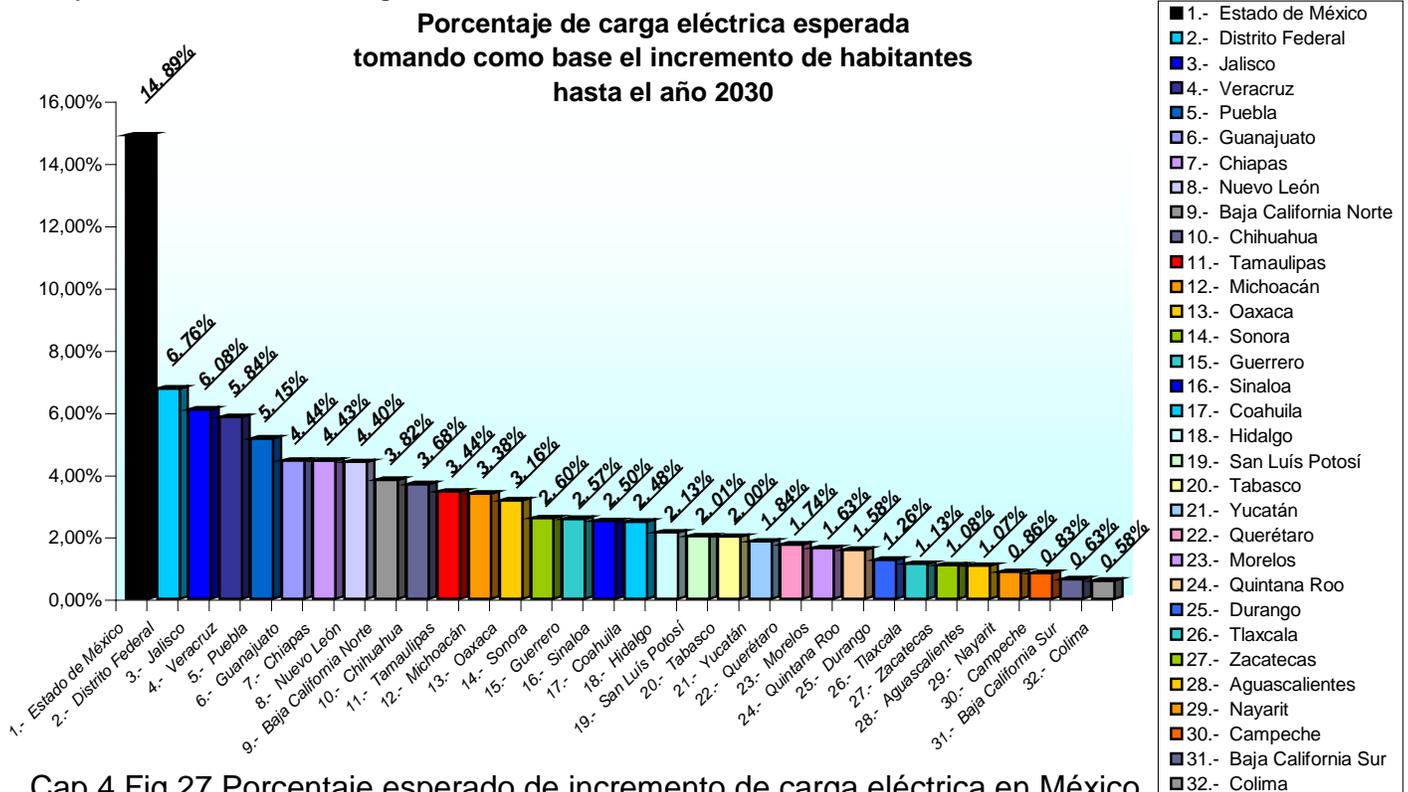


Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo



Cap.4 Mapa 1 Aumento de habitantes en México esperado hasta el año 2030.

Para poder predecir el comportamiento de la carga eléctrica tomaremos como base el incremento de la población estimado en cada estado de la republica mexicana hasta el año 2030, (fuente: CONAPO, 2008), tomando en consideración los niveles de mortalidad, nacimientos y migración interna internacional, esto nos sirve para identificar las zonas con mayor demanda de energía eléctrica.



Cap.4 Fig.27 Porcentaje esperado de incremento de carga eléctrica en México.



Capítulo 4

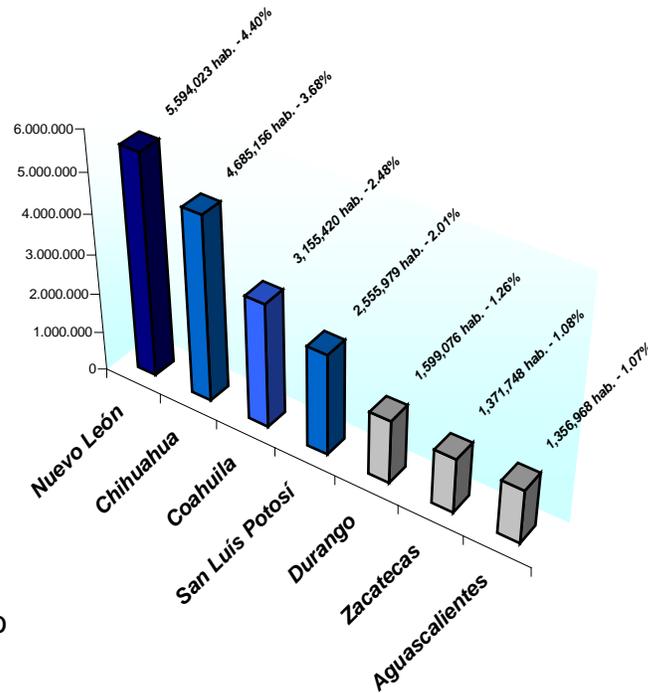


Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

Podemos observar en que porcentaje aumenta la carga eléctrica en base al incremento de población, de esta forma identificamos los estados de la república que tendrán una mayor demanda de energía a mediano y largo plazo.

Podemos saber los estados del norte, que tendrán un importante incremento de población hasta el 2030.como son:

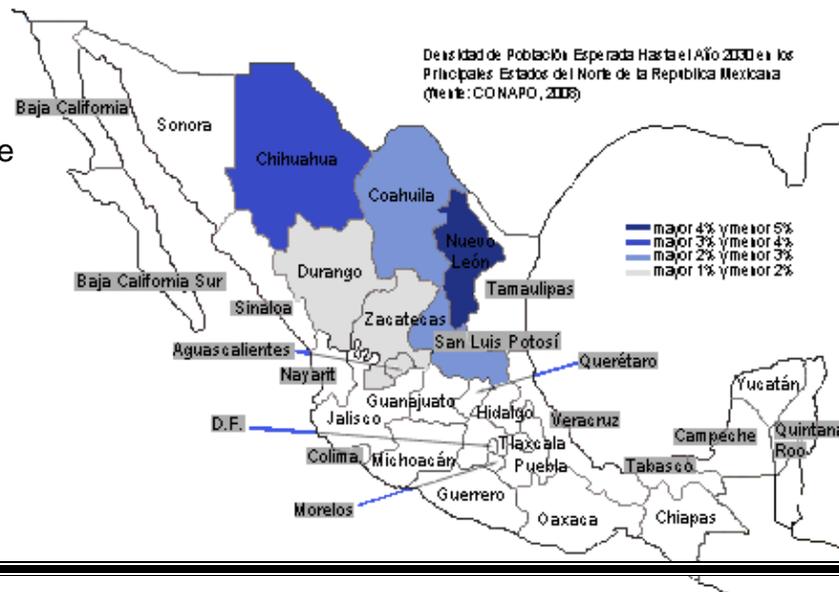
Principales estados del norte con incremento de habitantes hasta el año 2030 (fuente: CONAPO, 2008)



Cap.4 Fig.28 Estados del norte con aumento de carga eléctrica.

Cap.4 Mapa 2 Densidad de población en el norte de México.

- Nuevo León 4.4%
- Chihuahua 3.68%
- Coahuila 2.48%
- San Luis Potosí 2.01%
- Durango 1.26%
- Zacatecas 1.08%
- Aguascalientes 1.07%





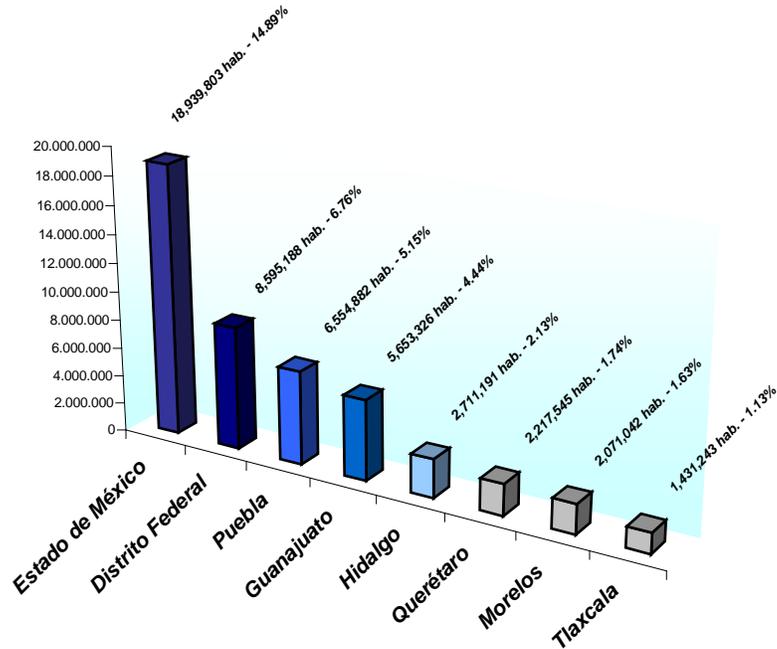
Capítulo 4



Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

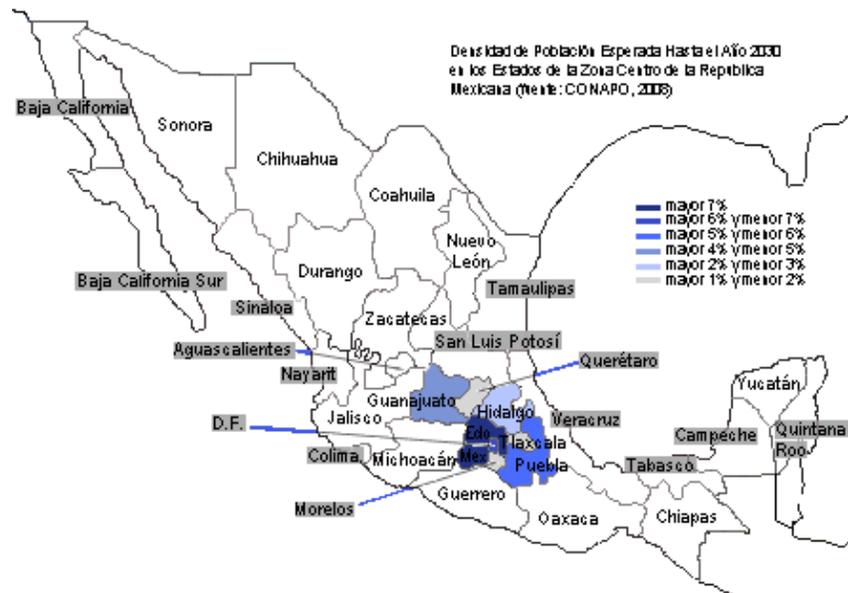
Así como los estados pertenecientes a la zona centro:

Principales estados de la zona centro con incremento de población hasta el año 2030 (fuente: CONAPO, 2008)



Cap.4 Fig.29 Estados del centro con aumento de carga eléctrica.

Cap.4 Mapa 3 Densidad de población en el centro de México.



- Estado de México 14.89%
- DF 6.76%
- Puebla 5.15%
- Guanajuato 4.44%
- Hidalgo 2.13%
- Querétaro 1.74%
- Morelos 1.63%
- Tlaxcala 1.13%



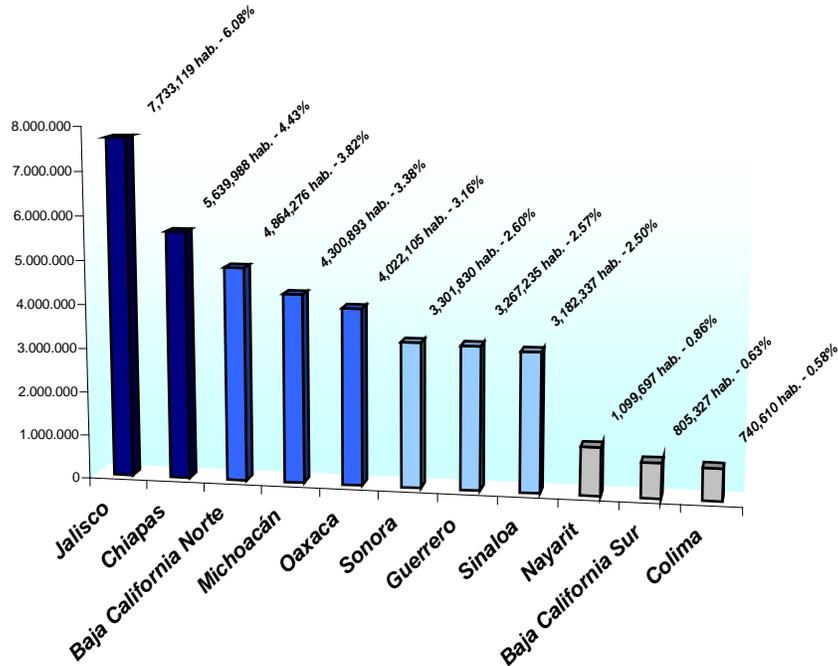
Capitulo 4

Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo



Estados costeros del océano pacifico:

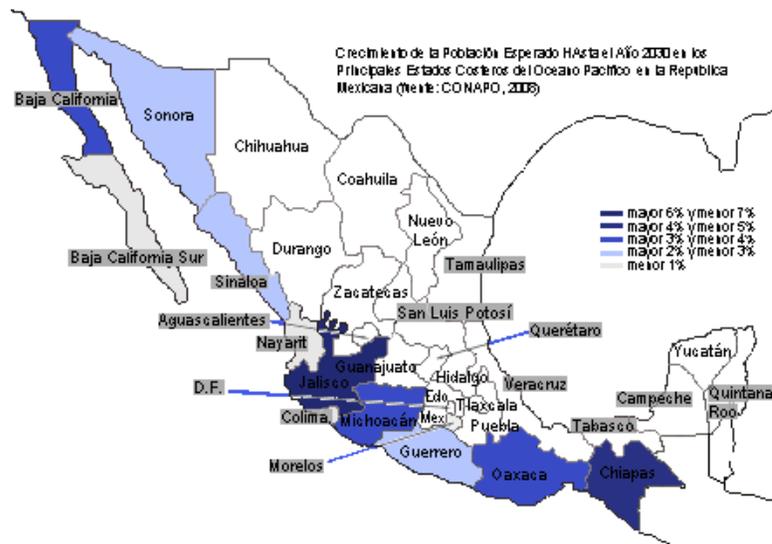
Principales estados costeros del oceano pacifico con incremento de población hasta el año 2030 (fuente: CONAPO, 2008)



Cap.4 Fig.30 Estados costeros del océano pacifico con aumento de carga eléctrica.

Cap.4 Mapa 4 Densidad de población en zonas costeras del océano pacifico de México.

- Jalisco 6.08%
- Chiapas 4.43%
- Baja California Norte 3.82%
- Michoacán 3.38%
- Oaxaca 3.16%
- Sonora 2.60%
- Guerrero 2.57%
- Sinaloa 2.50%
- Nayarit 0.86%
- Baja California Sur 0.63%
- Colima 0.58%





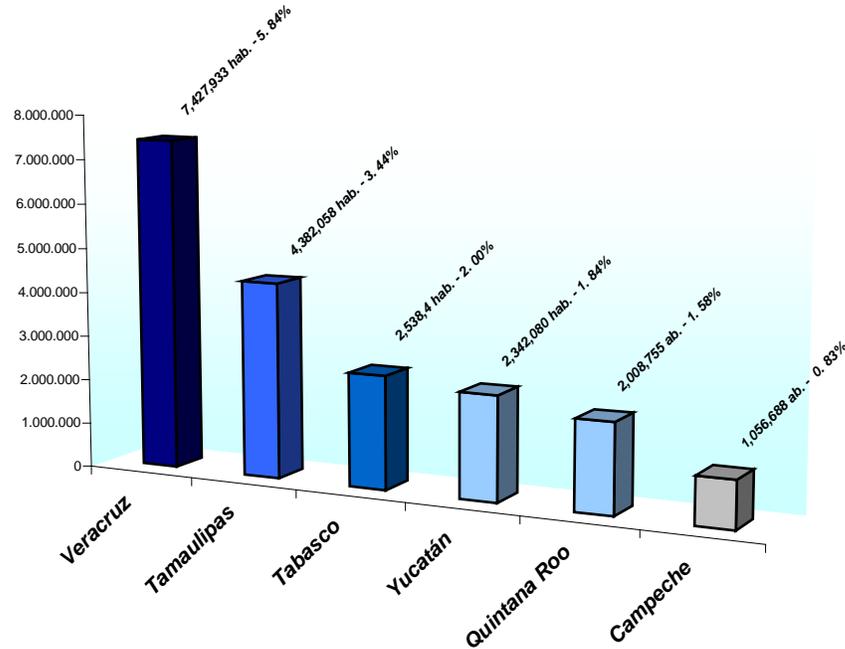
Capitulo 4



Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

Además de algunos estados costeros del golfo de México.

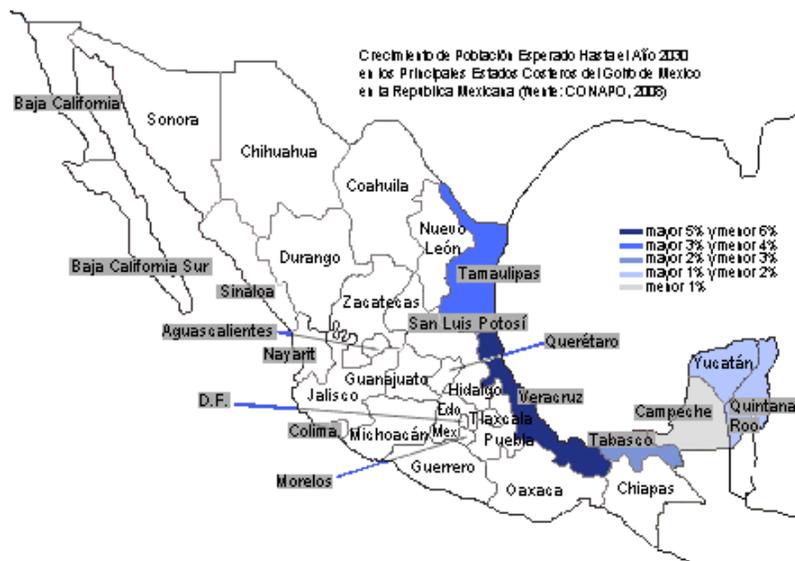
Principales estados costeros del golfo de México con incremento de población hasta el año 2030 (fuente: CONAPO, 2008)



Cap.4 Fig.31 Estados costeros del golfo de México con aumento de carga eléctrica.

Cap.4 Mapa 5 Densidad de población en zonas costeras del océano atlántico y golfo de México.

- Veracruz 5.84%
- Tamaulipas 3.44%
- Tabasco 2.00%
- Yucatán 1.84%
- Quintana Roo 1.58%
- Campeche 0.83%





Capítulo 4

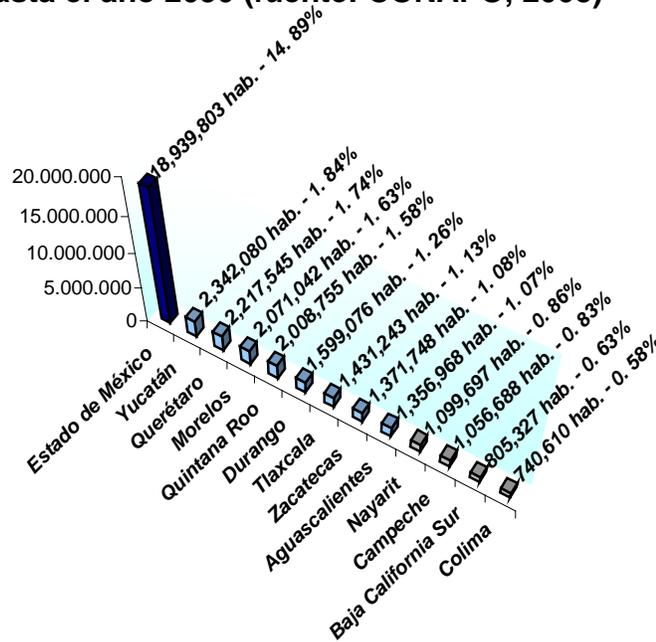


Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

Los estados de la república mexicana que presentan muy poco aumento en sus niveles de densidad de población hasta en año 2030 son considerados también los estados con menor demanda de energía eléctrica a corto y mediano plazo por lo que quedarían fuera de nuestro estudio debido a su baja expectativa de carga eléctrica.

Estados de la república mexicana con menor incremento de habitantes en comparación con el estado de mayor expectativa de carga eléctrica hasta el año 2030 (fuente: CONAPO, 2008)

Cap.4 Fig.32 Estados de la república mexicana con menor aumento de carga eléctrica.



Cap.4 Mapa 6 Estados con menor densidad de población en México.

- Estado de México
- Yucatán 1.84%
- Quintana Roo 1.58%
- Campeche 0.83%
- Querétaro 1.74%
- Morelos 1.63%
- Tlaxcala 1.13%
- Durango 1.26%
- Zacatecas 1.08%
- Aguascalientes 1.07%
- Nayarit 0.86%
- Baja California Sur 0.63%
- Colima 0.58%





Capítulo 4

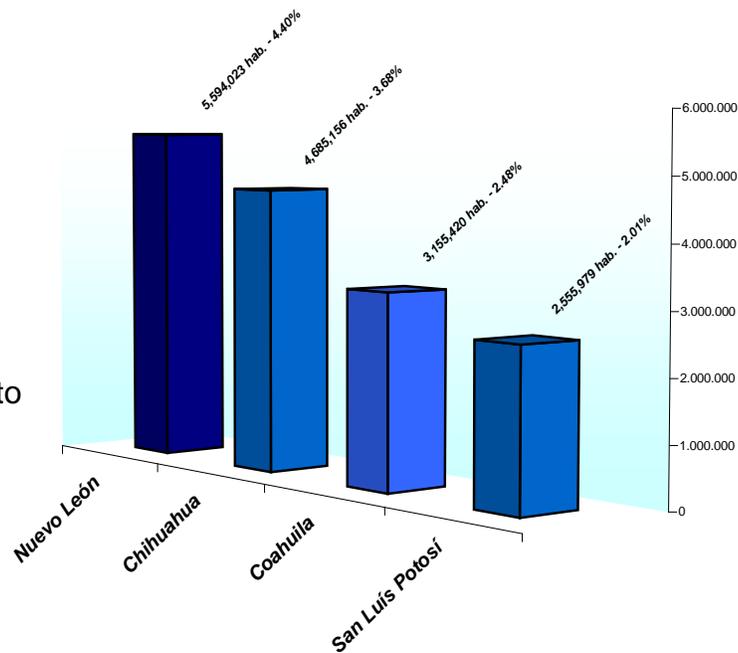


Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

Si consideramos para nuestro estudio aquellos estados con un incremento de población mayor al 2% hasta el 2030, en este caso el número de posibles estados que reúnen las condiciones de demanda de energía suficiente para pensar en la construcción de una planta nucleoelectrica se reduce en forma importante.

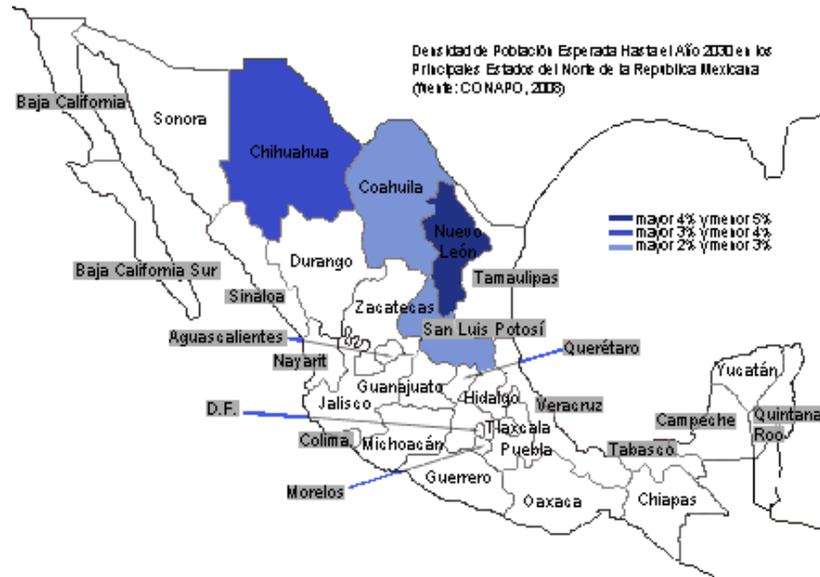
Los principales estados del norte que presentan un crecimiento de población considerable son:

Principales estados del norte con incremento de habitantes hasta el año 2030 (fuente: CONAPO, 2008)



Cap.4 Fig.33 Estados del norte de la republica mexicana con mayor aumento de carga eléctrica.

Cap.4 Mapa 7 Estados del norte de la republica mexicana con mayor densidad de población en México.



- Nuevo León 4.4%
- Chihuahua 3.68%
- Coahuila 2.48%
- San Luis Potosí 2.01%



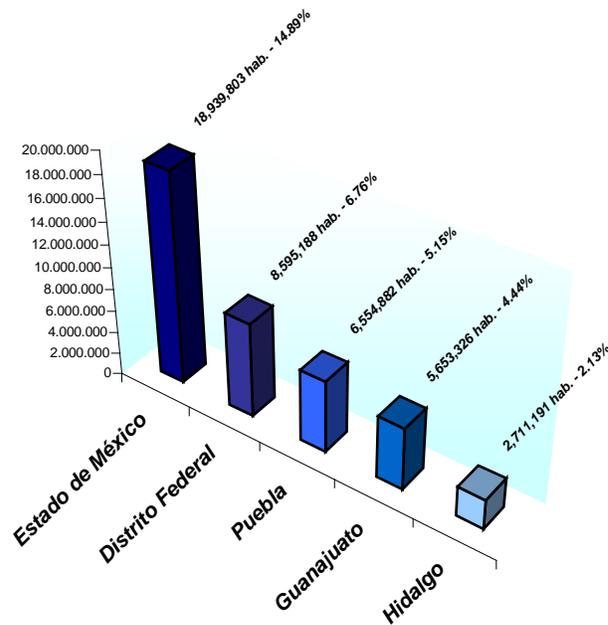
Capítulo 4



Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

Los principales estados pertenecientes a la zona centro que presentan un aumento considerable de población hasta el 2030 son:

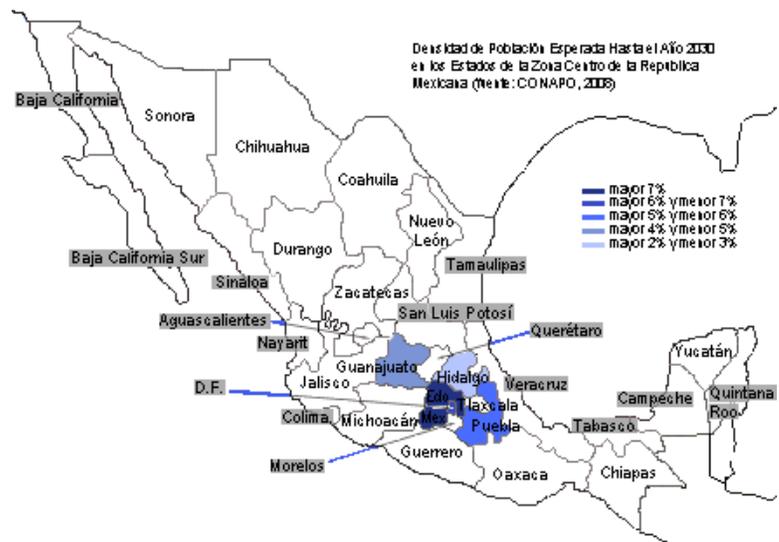
Principales estados de la zona centro con incremento de población hasta el año 2030 (fuente: CONAPO, 2008)



Cap.4 Fig.34 Estados del centro de la república mexicana con mayor aumento de carga eléctrica.

Cap.4 Mapa 8 Estados del centro de la república mexicana con mayor densidad de población en México.

Estado de México 14.89%
 DF 6.76%
 Puebla 5.15%
 Guanajuato 4.44%
 Hidalgo 2.13%





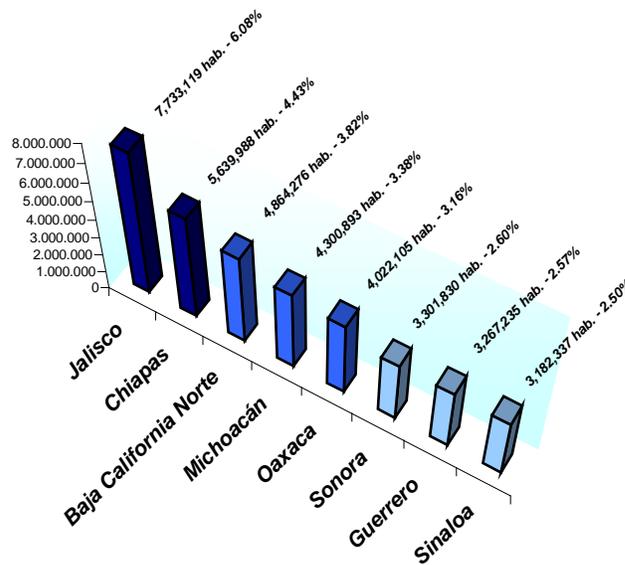
Capítulo 4



Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

Los principales estados de la república mexicana pertenecientes a zonas costeras del océano pacífico que incrementarán considerablemente su población como para pensar en la construcción de una nueva central nucleoelectrónica:

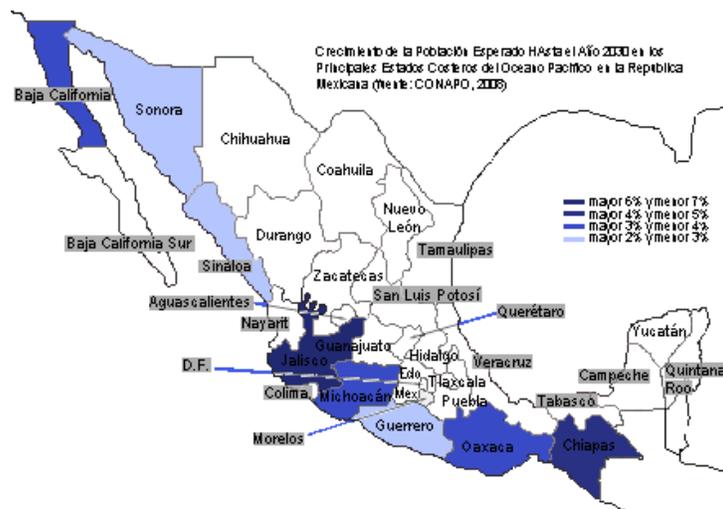
Principales estados costeros del océano pacífico con incremento de población hasta el año 2030 (fuente: CONAPO, 2008)



Cap.4 Fig.35 Estados costeros del océano pacífico con mayor aumento de carga eléctrica.

Cap.4 Mapa 9 Mayor densidad de población en zonas costeras del océano pacífico de México.

- Jalisco 6.08%
- Chiapas 4.43%
- Baja California Norte 3.82%
- Michoacán 3.38%
- Oaxaca 3.16%
- Sonora 2.60%
- Guerrero 2.57%
- Sinaloa 2.50%





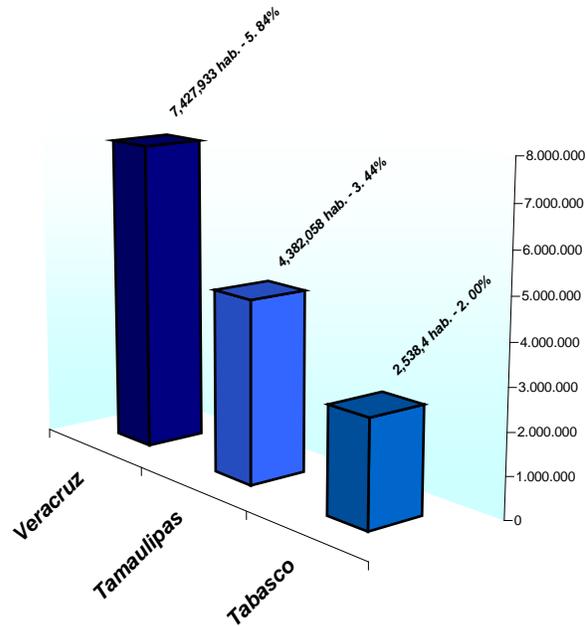
Capítulo 4



Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

Los principales estados pertenecientes a las zonas costeras del golfo de México que aumentarían en forma considerable su densidad de población son:

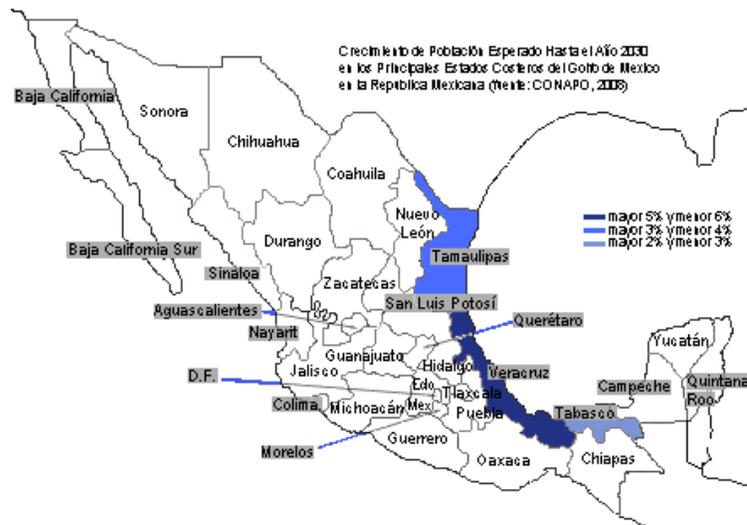
Principales estados costeros del golfo de México con incremento de población hasta el año 2030 (fuente: CONAPO, 2008)



Cap.4 Fig.36 Estados costeros del océano atlántico y golfo de México con mayor aumento de carga eléctrica.

Cap.4 Mapa 10 Mayor densidad de población en zonas costeras del océano atlántico y Golfo de México.

Veracruz 5.84%
Tamaulipas 3.44%
Tabasco 2.00%





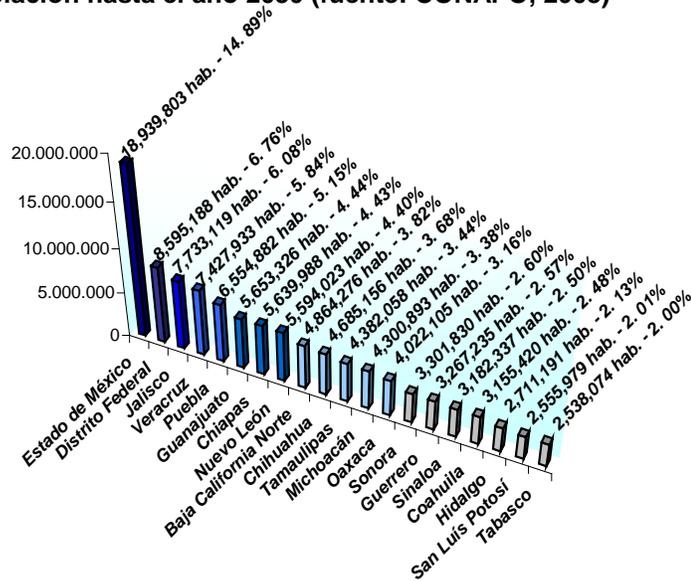
Capítulo 4



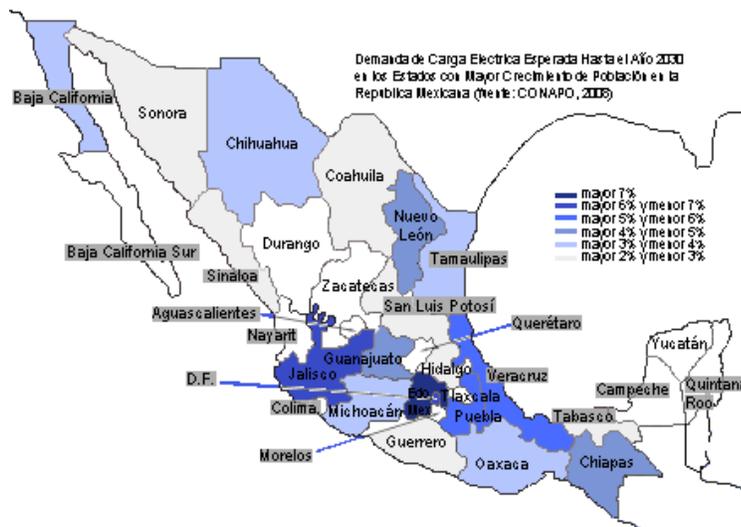
Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

Todos estos estados de la república mexicana tendrán un crecimiento de población mayor al 2% y hasta un 14.89%, por lo que nos ubicaremos principalmente en estos estados para determinar entre ellos cuál tiene mejores condiciones de construcción de una planta generadora de energía eléctrica. Después de analizar el incremento de población elemento principal que determina la carga eléctrica analizaremos a continuación, cada uno de los aspectos que nos ayudarán a encontrar el lugar más adecuado para la construcción de una central nucleoelectrónica.

Principales estados de la república mexicana con mayor incremento de población hasta el año 2030 (fuente: CONAPO, 2008)



Cap.4 Fig.33 Estados de la república mexicana con mayor aumento de carga eléctrica.



Cap.4 Mapa 11 Estados con mayor densidad de población en México.



4.8 Costo de construcción de una central nucleoelectrónica

Existen diversos factores económicos que influyen o son determinantes en la construcción de una central Nucleoelectrónica como son:

- Tipo de tecnología nuclear (reactor seleccionado).
- Método de construcción.
- Tiempo efectivo de trabajo de mano de obra.
- Capacidad de generación efectiva en planes de ser instalada.
- Características del lugar de instalación.
- Número de unidades generadoras por instalar.
- Sistemas de seguridad nuclear requeridos.
- Almacenamiento de residuos radiactivos entre otros.

Estos factores deberán ser considerados en la instalación operación y mantenimiento de una central nucleoelectrónica como un gasto base necesario, considerando el incremento de algunos costos a mediano y largo plazo.

Los costos de instalación de plantas nucleoelectrónicas son los que más han disminuido en la actualidad con un 36.07%, esta disminución en los costos y tiempos de construcción en las centrales nucleares se debe a los elevados avances tecnológicos utilizados en su diseño y construcción, como ejemplo tenemos los nuevos reactores japoneses construidos en menos de 4 años.

El costo total del combustible para una planta de energía nuclear es cerca de una tercera parte del costo del combustible para las plantas termoeléctricas de carbón y entre una cuarta y una quinta parte de los costos del combustible para una planta de gas tipo ciclo combinado. El uranio tiene que ser procesado y enriquecido para fabricar pastillas combustibles. Al menos tres cuartas partes del costo combustible, es debido al enriquecimiento y la fabricación de las pastillas combustibles.

El costo de combustible para producir 1kg de combustible nuclear (Uranio enriquecido), es de 0.35 (centavos de dólar)/kwh, este produce 3400 GJ térmicos el cual nos da 315,000 KWh, por consiguiente. Este costo depende del enriquecimiento promedio del combustible en el reactor y de la concentración de uranio 235 en la etapa de enriquecimiento.

Un kilogramo de uranio natural produciría cerca de 20,000 veces la energía producida por la misma cantidad de carbón. Por ello tiene la cualidad de ser un combustible portátil y manejable.



Capítulo 4



Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

Los costos de combustible clasificados de acuerdo al tipo de tecnología utilizada, nos indican que las centrales de generación tipo diesel tienen el costo más elevado por concepto de combustible seguidas de las centrales tipo combustión interna, aunque podemos apreciar un elevado incremento del 45% en los costos de gas natural principal fuente de generación de electricidad de las centrales tipo ciclo combinado y turbogás, siendo que los costos de los combustibles nucleares fueron los más bajos seguidos por los precios del carbón natural.

Los costos de operación y mantenimiento para la energía nuclear han disminuido, quedando a la par de los costos de las plantas carboeléctricas y por debajo de los costos para los demás combustibles fósiles excepto los de gas natural para plantas de ciclo combinado, los cuales son en promedio 50% menores.

Gracias a la reducción en los costos de generación por concepto de operación y mantenimiento, a la estabilidad de los costos de generación por concepto de combustible, pero sobre todo a la reducción en los costos por concepto de inversión para plantas nucleoeeléctricas, su costo total de generación es el más bajo junto con los costos de generación para plantas de ciclo combinado.

Dentro de los factores que incrementan el costo de inversión de las plantas nucleoeeléctricas se encuentra.

- El costo correspondiente al desmantelamiento de la planta al final de su vida útil el cual debe ser considerado en el costo unitario de inversión de capital.
- Dentro de los costos del combustible se incluye un cargo por concepto de manejo de combustible irradiado.
- Dentro de los costos de operación y mantenimiento se incluye un porcentaje por concepto de manejo de residuos radiactivos de bajo y medio nivel.
- El costo del mantenimiento adecuado de los sistemas de seguridad contra percances, ya que las plantas nucleoeeléctricas se encuentran bajo una estricta vigilancia tanto nacional como internacional.
- El costo por seguridad e integridad física tanto de las personas que participan dentro del ciclo de generación y de personas ajenas a éste, así como el impacto al medio ambiente.

Esto no pasa con los combustibles fósiles ya que sólo se toman medidas de seguridad del personal que participa en el ciclo de combustible, pero el tratamiento que se les da a los residuos tóxicos es realmente mínimo e insuficiente. Por ello organismos internacionales están tomando medidas cada vez más estrictas para manejar estos residuos, lo cual producirá un incremento en los costos de inversión y por consiguiente en los costos totales de generación para plantas termoeléctricas que utilizan combustibles fósiles.



4.9 Principales estados con cercanía del agua de mar.

Es de gran importancia ubicar la construcción de la central nucleoelectrica cerca del principal recurso renovable necesario para su funcionamiento, esto se debe principalmente a que el agua ligera (natural) ya sea agua de mar o agua dulce, después de ser purificada de impurezas, y sales minerales, cumple dos funciones importantes dentro de un reactor nuclear, se utiliza como moderador y como refrigerante, permitiendo que se lleve a cabo la reacción nuclear, fuente de generación de energía eléctrica.

Se prefiere en la mayoría de los casos que el recurso natural sea agua de mar debido a su abundancia y también, porque el agua dulce es muy importante para el consumo humano, es por esta razón que la nueva central nucleoelectrica deberá utilizar un sistema de enfriamiento de ciclo abierto haciendo circular el agua de mar como refrigerante, regresándola nuevamente al océano una vez terminado su ciclo de enfriamiento.

Es debido a que se requiere construir una planta nuclear que utilice un sistema de ciclo abierto, que se requiere abundancia de agua de mar, por lo que se deberá elegir entre estados de la republica mexicana con un importante crecimiento de población, que cumplan con la característica particular de pertenecer a zonas costeras siendo más adecuados para la construcción de una central Nucleoelectrica los siguientes estados: Jalisco, Veracruz, Chiapas, Baja California Norte, Tamaulipas, Michoacán, Oaxaca, Sonora, Guerrero, Sinaloa, Tabasco, Yucatán, Quintana Roo, Nayarit, Campeche, Baja California Sur y Colima.





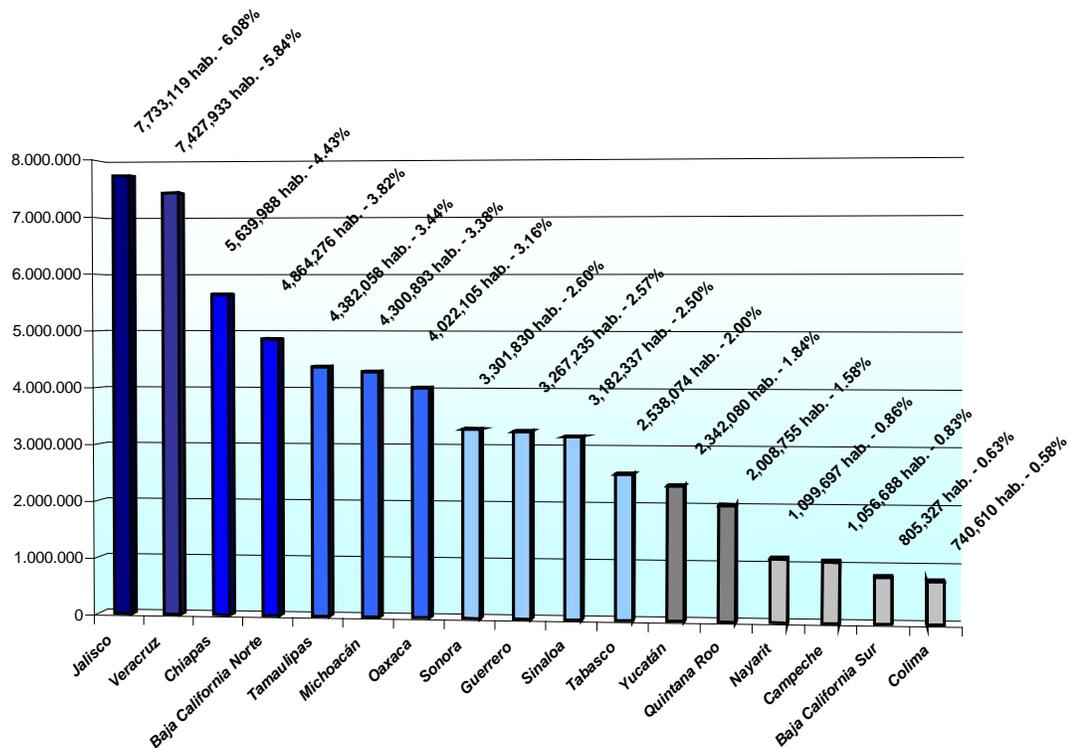
Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

Cap.4 Mapa 12 Principales ríos en México (fuente: INEGI, 2008).

Una gran ventaja de utilizar un sistema de enfriamiento abierto consiste en el uso de plantas evaporadoras de agua que produzcan agua destilada que podría utilizarse directamente en el reactor, convertirla en vapor y aprovechar su energía térmica generando electricidad. El vapor después de ser aprovechado puede ser liberado directamente a la atmósfera o ser condensado para reutilizarse, a diferencia de los sistemas de enfriamiento cerrados donde en consumo de agua se incrementa debido a las pérdidas de agua por evaporación en las torres de enfriamiento.

Si consideramos todos los posibles estados que cuenten con la condición esencial de estar cerca del mar, sin considerar como una condición necesaria el aumento de población podemos observar la diferencia respecto a la densidad de población entre estados con mayor y menor demanda de carga eléctrica, en caso de decidir construir alguna planta Nucleoeléctrica la última opción serían los estados donde se espera baja demanda de energía.

Estados costeros de la republica mexicana con expectativas de crecimiento de habitantes hasta el año 2030 (fuente: CONAPO, 2008)



Cap.4 Fig 34 Estados costeros de la republica mexicana.



Capitulo 4



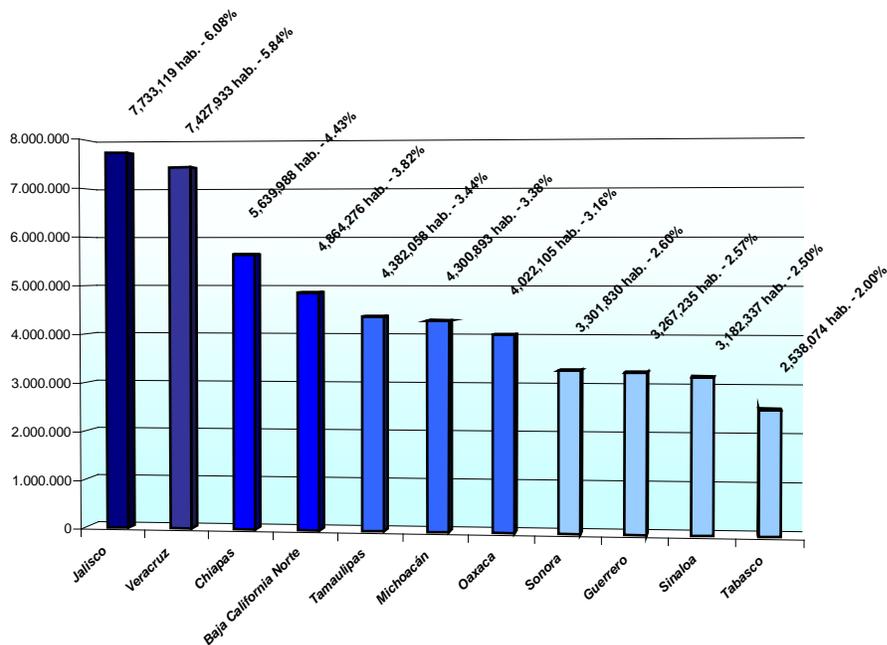
Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo



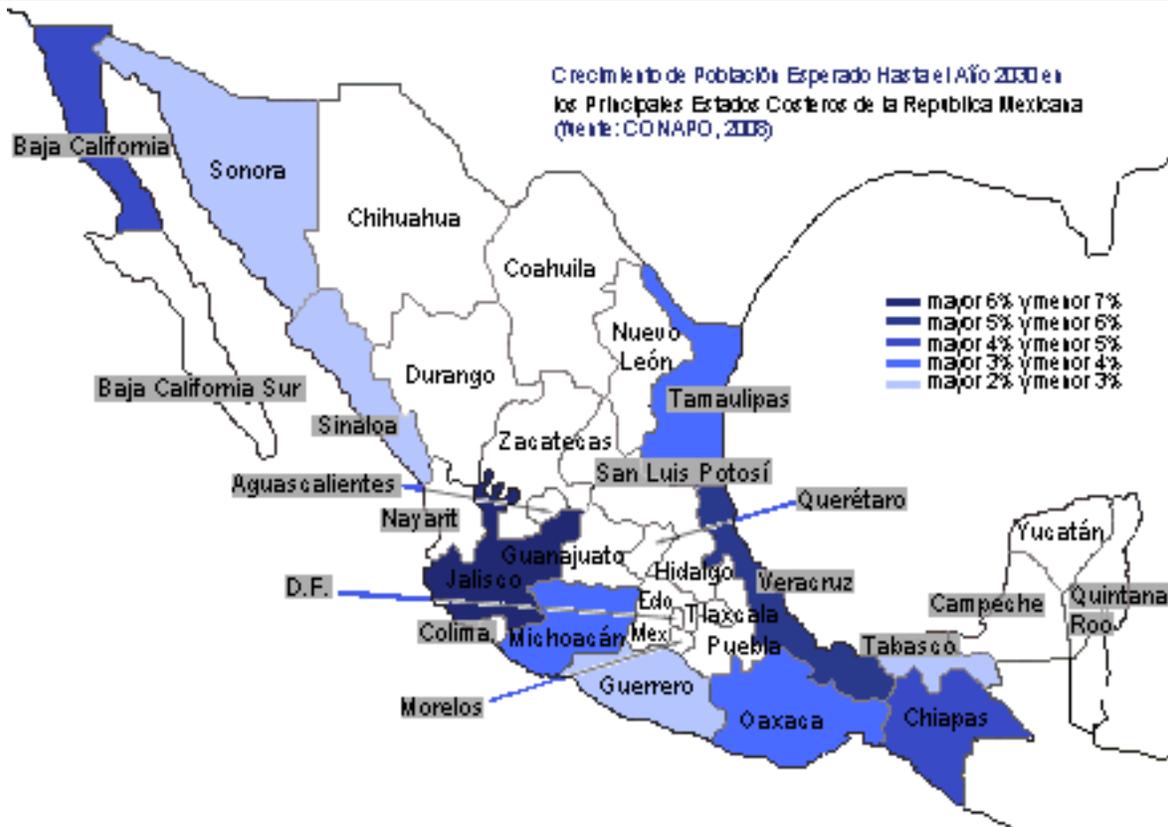
Cap.4 Mapa 14 Estados costeros con bajas expectativas de crecimiento.

De esta forma podemos ser concluyentes con los estados de la republica mexicana que serán tomados en cuenta en base a sus mayores expectativas de crecimiento de población y por consecuencia mayor aumento de carga eléctrica a mediano y largo plazo además de su cercanía con el agua de mar, sin descartar los estados con menor densidad de población cercanos a las costas, aunque siempre dando prioridad a los estados de mayor consumo de energía.

Estados costeros de la republica mexicana con expectativas de crecimiento de habitantes hasta el año 2030 (fuente: CONAPO, 2008)



Cap.4 Flg 35 Estados Costeros con altas expectativas de crecimiento.



Cap.4 Mapa 15 Estados Costeros con altas expectativas de crecimiento.

Los estados costeros con mayores expectativas de crecimiento considerados son en orden de importancia: Jalisco, Veracruz, Chiapas, Baja California Norte, Tamaulipas, Michoacán, Oaxaca, Sonora, Guerrero, Sinaloa y Tabasco, todo esto sin considerar los otros factores analizados más adelante, que nos ayudaran a determinar cuál es el estado que reúne las mejores características para la construcción de una planta Nucleoeléctrica.

4.10 Grado de sismicidad en la republica mexicana

Otro de los factores que se tienen que considerar debido a su importancia en la construcción de una planta nuclear es el factor sismológico o grado de sismicidad que de acuerdo con los estudios sismológicos realizados en México, por el (SSN), sistema sismológico nacional nos muestra los principales estados de la republica ubicados en zonas de alto riesgo.

De acuerdo con el sistema sismológico nacional (SSN), las zonas de alto riesgo, se clasifican así por que en ellas se han reportado grandes sismos históricos, además de esto los sismos ocurren frecuentemente.



Cap.4 Mapa 16 Principales estados de la república mexicana con alto riesgo sísmico (fuente: INEGI, 2008)

Podemos ubicar varios estados costeros dentro de la clasificación con mayor grado de sismicidad, mismos que descartaremos de nuestro estudio como posibles regiones adecuadas para la construcción de una planta Nucleoeléctrica, estos estados son: Baja California Norte, Baja California Sur, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y Chiapas.

El mayor peligro lo presentan los sismos que ocurren a lo largo de las costas del Pacífico, entre las ciudades de Puerto Vallarta (Jalisco) y Tapachula (Chiapas). No sólo se producen sismos con mayor frecuencia, sino también los mayores sismos registrados en México tuvieron su epicentro en estas poblaciones. Estos sismos, que por su cercanía a las costas representan un grave peligro para las poblaciones costeras, también afectan al Valle de México, como se ha constatado durante los grandes sismos de 1911, 1957, 1979 y 1985.

Lo anterior no quiere decir que no se pueda construir una central nucleoelectrica en estos estados, pero de construirse, los costos de inversión aumentan considerablemente al tener que reforzar los sistemas de seguridad, contenedor primario y secundario, para que en caso de sismos, la obra civil no se vea afectada.



4.11 Factores climatológicos

Existen factores climáticos que pueden dificultar la construcción y operación de una planta de generación de energía eléctrica es por esta causa que debemos reducir la posibilidad de construcción de una central nucleoelectrica en lugares propensos a diversos fenómenos meteorológicos como son:

Factores Climáticos que dificultan la construcción de una central Nucleoelectrica.

1. Lluvia excesiva y neblina espesa.- En el caso de zonas que se caracterizan por lluvias frecuentes de menor o gran intensidad, se tendría que descartar la posibilidad de construcción debido al tipo de suelo característico de este tipo de regiones (suelo húmedo y lodoso poco apto para la construcción de los cimientos que en el caso de construirse se hundirían o haría falta rellenar con concreto lo que ocasionaría perdida de material y elevados costos de construcción y mantenimiento).
2. Fuertes tormentas y huracanes.- En el caso de construir en zonas propensas a sufrir daños por diversos fenómenos meteorológicos que dificultarían en todo caso la construcción operación y mantenimiento de la central, aunque la construcción previene cualquier situación de clima adverso, el desgaste sufrido por una instalación Nucleoelectrica ubicada en este tipo de zona generaría mayores gastos de mantenimiento y menor vida útil de la central lo que ocasionaría perdidas materiales y económicas.
3. Sequías y zonas de calor excesivo.- Las regiones con poco abastecimiento de agua dificultarían la construcción de cualquier tipo de planta de ciclo térmico debido a la necesidad de este recurso como refrigerante y como fuente de energía.

Estos factores climáticos descartan la posibilidad de construcción en algunos estados como **Yucatán y Quintana Roo** que sufren de constantes fenómenos meteorológicos adversos además de la escasa densidad de población, en ambos estados se reduce la posibilidad de pensar en la construcción de una central nucleoelectrica.

4.12 Otros recursos naturales disponibles para la generación de energía eléctrica.

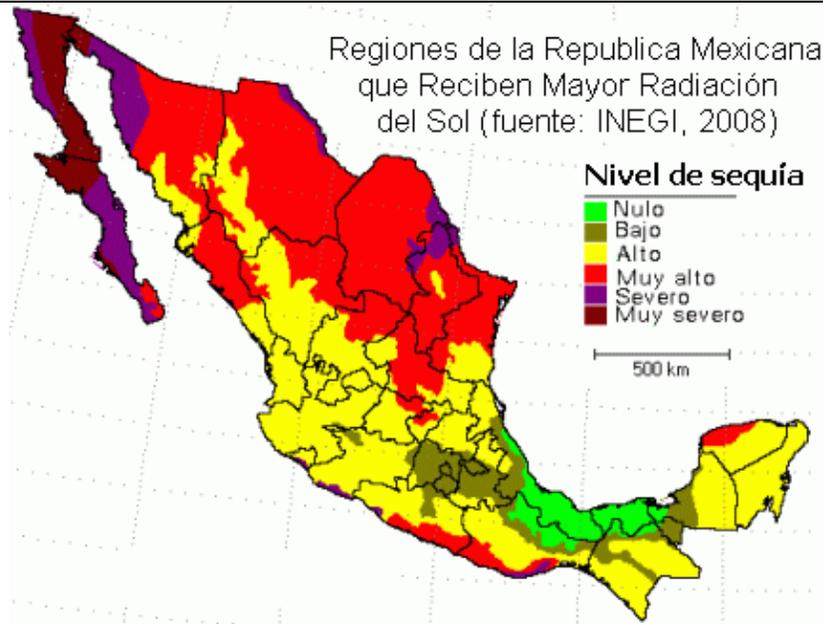
Es de gran importancia considerar los recursos disponibles en la zona elegida para la construcción de una planta nucleoelectrica, en caso de existir recursos naturales renovables y no renovables como: gas natural, petróleo, carbón, sol, agua, viento etc. seria más conveniente la construcción de otro tipo de planta de generación que utilice como combustible los recursos disponibles en cada región del país.



Capítulo 4



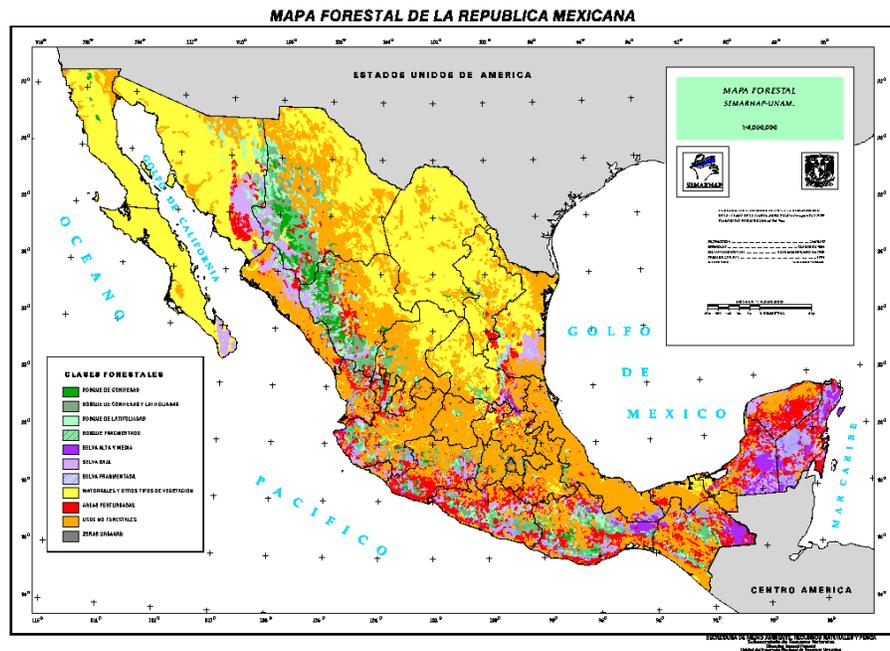
Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo



Regiones de mayor radiación solar (fuente: INEGI, 2008)

Cap.4 Mapa 17 Regiones de mayor radiación solar en México

Además de todo esto deben tomarse muy en cuenta cada uno de los elementos ambientales considerados características primordiales del desarrollo sustentable en cada región del país, siempre en vista de conservar el equilibrio de los ecosistemas y la vida en su estado natural (biodiversidad), como una condición necesaria para la supervivencia de los habitantes de cada estado de la republica mexicana.



Cap.4 Mapa 18 Regiones de México con recursos forestales importantes



La abundancia de ciertos recursos naturales en determinadas regiones del país como son los estados de Tabasco, Veracruz y Tamaulipas dificultan la construcción de una central nucleoelectrica, debido a que son de los principales estados productores de petróleo y gas natural en donde se considera más adecuado la construcción de alguna planta generadora que utilice como recurso de generación el combustible abundante en esta región del país.



Cap.4 Mapa 19 Principales estados productores de hidrocarburos en México (fuente: SENER, 2008)

Principales regiones o zonas de explotación de petróleo en México	Características
Reynosa (Tamaulipas)	Zona de Exploración y Exploración - Refinería
Matamoros (Tamaulipas)	Zona de Exploración y Explotación
Tampico (Tamaulipas)	Zona de Exploración y Explotación - Refinería
Tuxpan (Veracruz)	Zona de Exploración y Explotación
Poza Rica (Veracruz)	Zona de Exploración y Explotación
Minatitlan (Veracruz)	Zona de Exploración y Explotación
Paraíso (Tabasco)	Zona de Exploración y Explotación
Frontera (Tabasco)	Zona de Exploración y Explotación
Ciudad del Carmen (Campeche)	Zona de Exploración y Explotación

Cap.4 Tabla 7 Regiones productoras de hidrocarburos en México (SENER, 2008)

Veracruz por el momento ya cuenta con la única central nucleoelectrica del país Laguna Verde, por lo que no es una opción por el momento construir una nueva central nucleoelectrica en este estado, debido a que seria más factible ampliar la generación de energía eléctrica de la central Laguna Verde mediante la construcción de otra unidad generadora de energía.



Existen recursos naturales renovables que en algunos estados no han sido adecuadamente explotados y que pueden utilizarse para la generación de energía eléctrica como son la energía del viento en Oaxaca recursos renovables que pueden utilizarse de manera importante generando energía eléctrica limpia de emisiones contaminantes y que garantizan el desarrollo de cierta región en la que lamentablemente aun no se han logrado aprovechar completamente, pero se sigue investigando la forma de obtener cada vez mayor energía eléctrica utilizable con cada vez menos cantidad de recursos renovables. Entre estos recursos tenemos a la energía térmica que se puede obtener a partir de pozos naturales geotérmicos o yacimientos generando cantidades importantes de energía este tipo de pozos geotérmicos los podemos encontrar en estados como Jalisco y Baja California Norte.

4.13 Cercanía con otras plantas de generación de energía eléctrica

Otro de los factores importantes que nos ayudaran a encontrar el estado mas adecuado para la construcción de una central nucleoelectrica es la cercanía con otras centrales de generación de energía podemos apreciar claramente como el numero de centrales se incrementa conforme nos acercamos mas a la capital de la republica mexicana, siendo cada vez mas reducido el terreno y condiciones ambientales requeridas para la construcción y funcionamiento de algún tipo de central que tengan como fuente de generación combustibles fósiles.



Cap.4 Mapa 20 Principales centrales de generación en México (fuente: SENER, 2008)

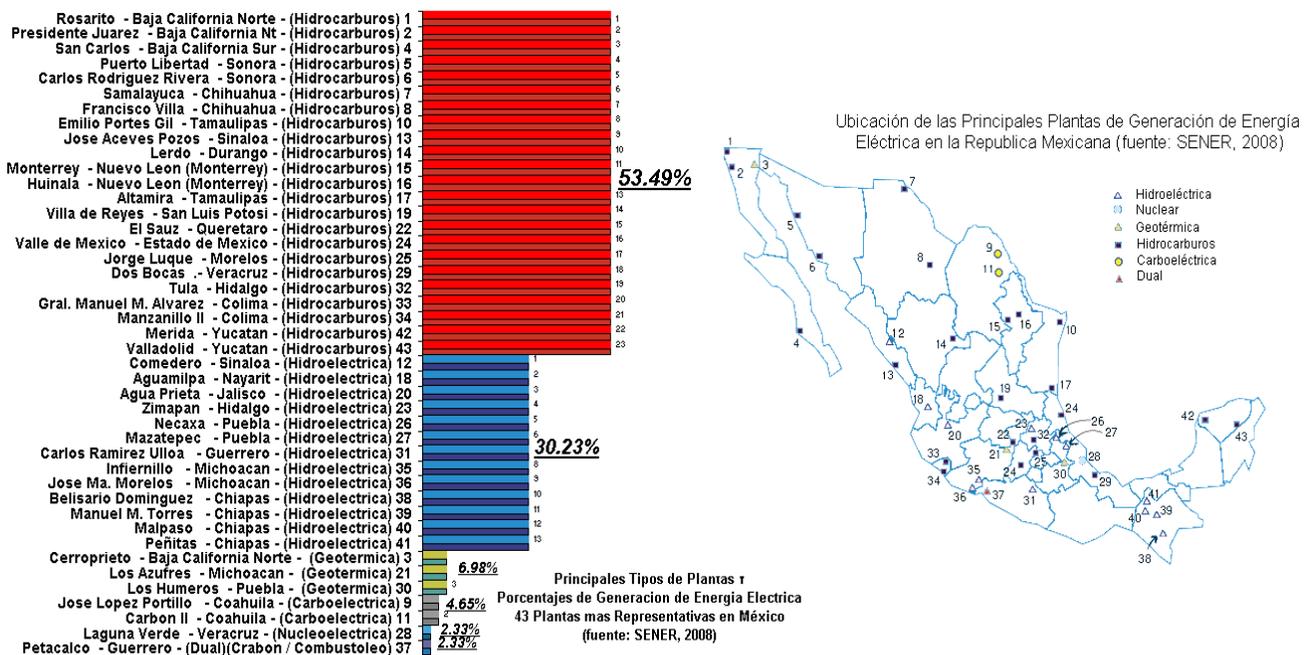


Capítulo 4

Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo



Siendo la base de generación de energía eléctrica cerca de la capital de México los hidrocarburos debido en gran medida a que los recursos naturales son limitados, sobre todo el agua potable, que debe ser incluso traída desde otros estados hasta el DF. Desafortunadamente las otras fuentes de energía renovables como el sol, viento y biomasa proporcionan muy poca energía eléctrica por lo que aun no son viables en términos de producción de electricidad, es debido a esto que la electricidad se tiene que traer de sitios muy lejanos y después de la generación de energía por las plantas hidroeléctricas no existe otro medio no contaminante que genere energía a gran escala, es debido a esto que la energía nuclear puede generar la energía eléctrica a gran escala que se demanda por las grandes ciudades generando una cantidad mínima de residuos.



Cap.4 Mapa 21 Principales centrales de generación en México (fuente: SENER, 2008)

4.14 Abundancia de los combustibles nucleares

El Uranio como principal combustible nuclear, es abundante en México y en el mundo debido a que existen de 2 a 4 partes por millón en la corteza terrestre, además de esto el agua de mar también contiene uranio en menor proporción 3 partes por billón, esto representa una reserva con un potencial de 4 mil millones de toneladas en espera de ser extraídos a mediano y largo plazo.

Las reservas mundiales de uranio seguras y adicionales, tienen un costo de extracción en promedio de 110 dólares por kilogramo, su abundancia a nivel mundial se calcula en 4.3 millones de toneladas de óxido de uranio (U₃O₈).



México cuenta con abundantes reservas de uranio que se calculan en 10,600 toneladas, además de esto existen reservas asociadas a la roca fosfórica de Baja California Sur calculadas en 150, 000 toneladas de óxido de uranio (U_3O_8), su extracción y aprovechamiento dependen de la futura capacidad de producción de ácido fosfórico.

En la actualidad existe una gran capacidad de enriquecimiento de uranio, en promedio se generan 34,000 toneladas de uranio enriquecido cada año, además de esto Rusia tiene una capacidad de exportación estimada en 3,000 toneladas y EU tiene una capacidad de 7,700 toneladas anuales.

Debido a que existe una elevada producción de combustible nuclear, el mercado internacional es altamente competido, por lo que los precios del combustible nuclear disminuyen continuamente. En la actualidad se investiga un nuevo proceso para lograr la separación del uranio 235 por medio de láser, que consiste en irradiar con láser a una frecuencia determinada el vapor de uranio metálico ó hexafluoruro de uranio, separando electromagnéticamente los átomos de uranio 235 de los átomos de uranio 238 obteniendo como resultado de este proceso uranio enriquecido con una inversión menor de capital.

4.15 Estado de la república mexicana más viable para la construcción de una central nucleoelectrónica.

De acuerdo al análisis de factores antes mencionados, Tamaulipas es el estado que se propone como el más viable para construir una central nucleoelectrónica, considerando como primer factor determinante la carga eléctrica aunado a los otros factores como son, el segundo factor considerado en nuestro análisis que es considerado en orden de importancia es la cercanía del agua de mar, tomamos en cuenta el factor sísmológico siendo muy importante, además el factor climático y fenómenos meteorológicos adversos, también consideramos como los otros recursos naturales disponibles y por último como se considero la cercanía con otras plantas de generación de electricidad aunado con la cercanía a la capital el DF y Estado de México disminuyendo costos por líneas de transmisión siendo distribuida parte de la energía generada por la nueva central nucleoelectrónica al estado de Nuevo León, que es de los estados con mayores expectativas de crecimiento.

Esto no quiere decir que sea el único estado viable, debido a que se puede tomar en cuenta otros factores económicos técnicos, o políticos que influyen en la decisión final, dependiendo del peso que se le de a cada uno.



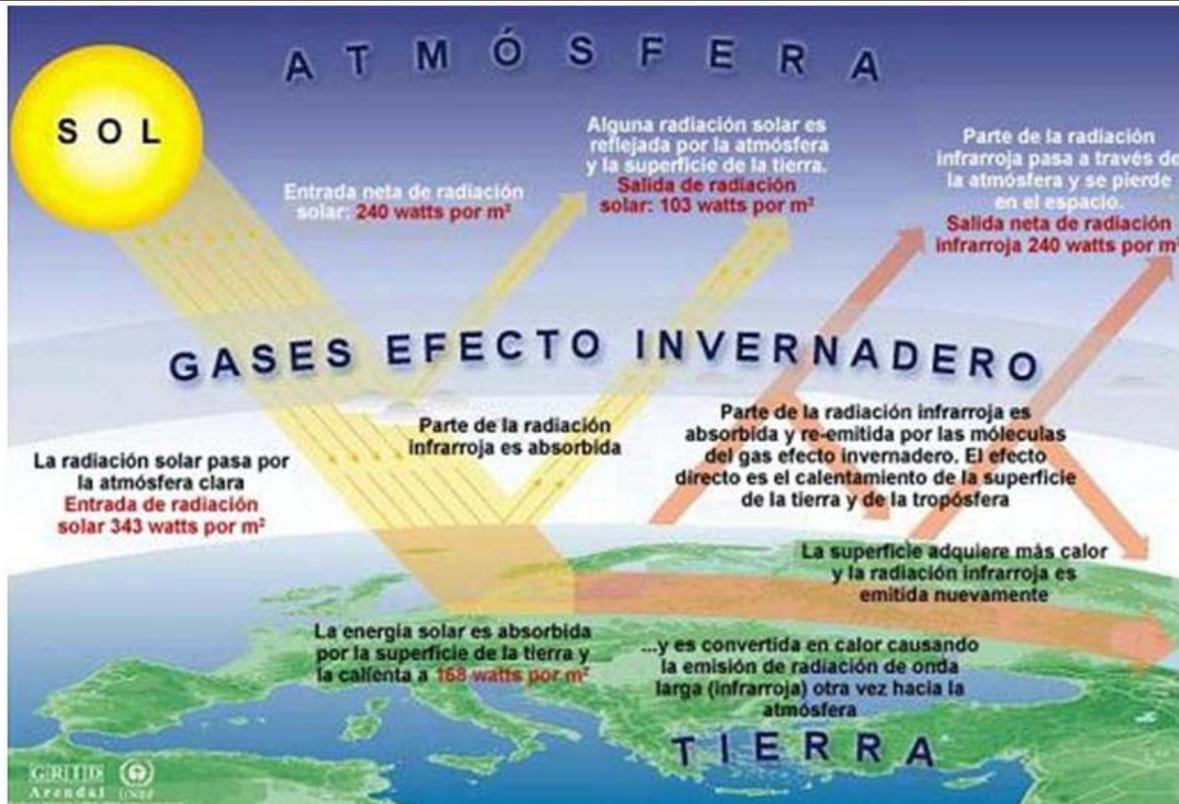
Cap.4 Mapa 22 Región costera adecuada para la construcción de una central nucleoelectrífica (fuente: Atlas de México, 2008)

4.16 La energía nuclear como una alternativa real ante el calentamiento global y los gases de invernadero

El impacto al medio ambiente provocado por el consumo de combustibles derivados del petróleo y otros contaminantes son causa directa de lo que se conoce como efecto invernadero, que es consecuencia de la acumulación de gases nocivos en la atmósfera como: bióxido de carbono (CO_2), vapor de agua, ozono (O_3), óxido nítrico (N_2O), metano (CH_4) y los clorofluorocarbonos (CFC_s). Normalmente la acumulación de estos gases en la atmósfera es pequeña por lo que se conocen como gases traza, esta mínima concentración de gases traza causan que la temperatura en la superficie de la Tierra sea templada a nivel mundial de no ser así la temperatura descendería $33^{\circ}C$ y la tierra no tendría las condiciones necesarias para la vida.



Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo



IPCC, 1996. *Climate Change 1995, contribution of the Working Group 1 to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, UNEP and WMO. Cambridge Univ. Press, UK.

Cap.4 Fig.36 Efecto invernadero y calentamiento global, (fuente: CONAE, 2008)

En resumen, el aumento de gases de invernadero en la atmósfera provoca una menor salida de radiaciones infrarrojas al espacio exterior causando que la mayor parte de las radiaciones infrarrojas sean reflejadas a la Tierra, elevando la temperatura de la superficie del planeta, provocando un cambio climático a nivel mundial.

Las principales consecuencias del calentamiento global son:

1. La elevación del nivel del mar, provocando la inundación de diversas zonas costeras y de algunas ciudades.
2. La reducción de ríos, lagos y fuentes naturales de agua dulce.
3. El aumento de sequías, provocando consecuentemente la disminución de tierras cultivables, con esto la cada vez mayor escasez y elevados costos de los alimentos.
4. El cambio climático violentamente cambiante manifestado a través del aumento de fenómenos meteorológicos como huracanes y tsunamis ocasionados por el choque de corrientes de aire y de agua respectivamente de elevada temperatura provenientes del ecuador y de muy baja temperatura que provienen del excesivo descongelamiento de los polos. Además de terremotos causados por la evaporación de los mantos de agua subterráneos.



5. La pérdida de la vida de muchas especies de plantas y animales (biodiversidad), consecuencia del rápido y agresivo daño a los ecosistemas.
6. La mayor expansión de diversos tipos de enfermedades infecciosas consecuencia de las elevadas temperaturas.

En la actualidad a nivel mundial la energía nuclear con un aporte de energía eléctrica generada del 16%, disminuye en forma importante la emisión de bióxido de carbono como contaminante producido principalmente por las plantas carboeléctricas lo que significa una reducción de 2.4 millones de toneladas de bióxido de carbono por año equivalentes al 16% de producción de electricidad.

Además en comparación con las plantas de gas natural, la energía nuclear reduce cerca de 1.2 millones de toneladas de bióxido de carbono al año, siendo que el bióxido de carbono es el principal causante del efecto invernadero, aun a pesar de esto el ser humano aporta más del 80% de la contaminación que causa el calentamiento global.

Este problema fue cuidadosamente estudiado por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) de la ONU. De acuerdo a la concentración de los presentes niveles de contaminación por bióxido de carbono que existen en la atmósfera, se requiere una reducción de más del 80% de emisiones contaminantes en lo que refiere únicamente al bióxido de carbono.

Esta reducción necesaria de emisiones contaminantes de bióxido de carbono podría llevarse a cabo mediante el uso de la energía nuclear. Comparando los niveles de contaminación por tipo de fuente generadora aproximadamente 22 toneladas de uranio utilizadas evitan 1,000,000 toneladas de bióxido de carbono, cantidad de bióxido de carbono generada por el consumo de carbón.

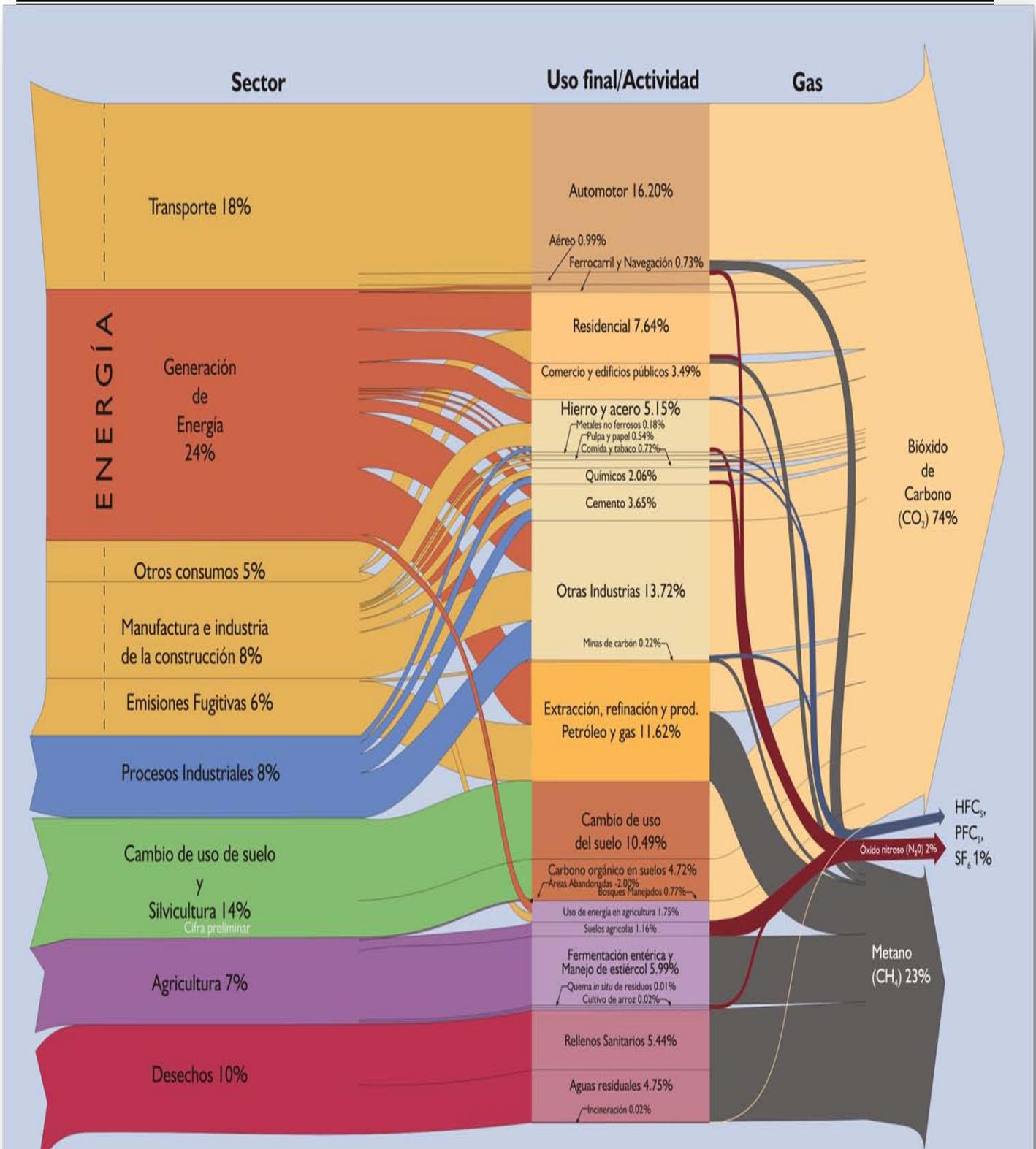
Además existen diversos tipos de fuentes renovables de generación de energía eléctrica, que pueden ofrecer una solución definitiva a todo tipo de contaminación producida por el consumo de combustibles fósiles, como hemos revisado anteriormente. De esta forma se hacen cada vez mayores esfuerzos para lograr la mayor generación de electricidad, aunque el crecimiento en la utilización de fuentes de energía renovables a excepción de la hidroeléctrica está muy por debajo de las demandas de energía eléctrica en la actualidad, siendo que cerca del 2% de la energía eléctrica generada en el mundo proviene de fuentes de energía renovables diferentes a la hidroeléctrica.



Capítulo 4



Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo



Cap.4 Fig 37 Producción de CO₂ y otros contaminantes a nivel mundial (fuente: CONAE, 2008)



La única fuente natural renovable de generación de energía eléctrica utilizada en forma masiva a gran escala actualmente es la generación de energía que ofrecen las centrales hidroeléctricas, aunque este tipo de centrales están sujetas a la disponibilidad de las fuentes naturales de generación ríos y lagos, que en un futuro no muy lejano comenzarán a escasear debido a las intensas sequías causadas por el desajuste climático, además de esto debido al excesivo consumo de combustibles fósiles, las plantas termoeléctricas y de ciclo combinado disminuirán su producción en la misma medida en que se termine el petróleo. De esta misma forma disminuirán las plantas carboeléctricas como única solución al problema del calentamiento global y de emisiones contaminantes que ponen en riesgo la vida en el planeta. Esto nos deja una gran parte del problema de generar energía eléctrica, ante una mayor demanda ocasionada por crecimiento exponencial de la población, de esta forma la aportación de energía eléctrica mediante energía nuclear será en un futuro no muy lejano indispensable para lograr el abastecimiento de energía eléctrica a nivel mundial.

Parte de la solución a la demanda de energía eléctrica en forma masiva a gran escala puede ser resuelto mediante la utilización de la energía nuclear como fuente de generación de energía eléctrica, debido en gran parte a la abundancia de los combustibles nucleares naturales, a la mínima cantidad de combustible que se necesita para producir energía eléctrica “diez gramos de combustible nuclear, producen energía eléctrica equivalente a casi cuatro barriles de combustóleo” Además de la facilidad con que puede crearse combustible nuclear artificial en los reactores de cría de combustible, todas estas características de disponibilidad y de capacidad energética entregada por los combustibles nucleares, hacen de la energía nuclear una opción ampliamente recomendable ante la cada vez mayor demanda de energía eléctrica a gran escala.

4.17 Aspectos ambientales

Nunca antes los problemas relacionados con la conservación del medio ambiente habían sido objeto de atención ni motivo de tanta preocupación como en la actualidad. Lo que hace relativamente poco constituía un tema exclusivo de instituciones científicas, departamentos gubernamentales y especialistas, hoy se debate por la opinión pública en muchos países. Las razones, desafortunadamente están de sobra fundamentadas pues a medida que se ha incrementado la población en el planeta y se ha alcanzado un vertiginoso desarrollo tecnológico en las más diversas esferas industriales, el hombre se ha convertido ahora como nunca, en el principal agente de los cambios al medio ambiente.

Puede decirse que, en la actualidad el problema ambiental presenta dos vertientes bien definidas. Por una parte, las actividades del hombre, que ya han producido efectos cuantificables, como la desertificación, la deforestación, la contaminación ambiental y la lluvia ácida, y por otra, los procesos inducidos por el desarrollo, que potencialmente son de alto riesgo para futuras generaciones, entre los que se incluye el efecto invernadero y la reducción paulatina de la capa de ozono.



Uno de los contaminantes más peligrosos de la industria y de la generación basada en combustibles fósiles, es el dióxido de azufre. Su presencia en la atmósfera, inclusive en cantidades muy reducidas, tiene efectos muy nocivos sobre la vegetación.

No es casual que en las regiones donde se ubican varias centrales térmicas de gran capacidad, se observa la desaparición casi total de los bosques, pues esta sustancia al disolverse en el agua, se convierte en ácido sulfúrico, que da origen a las precipitaciones ácidas. Y aunque se han elaborado soluciones nacionales y globales para evitar muchos de los efectos negativos mencionados, en la mayoría de los países existe aún una separación entre la protección del ambiente y la economía, y en otros casos el enorme costo de las soluciones vuelve difícil su aplicación, sobre todo en las naciones menos desarrolladas.

El peligro potencial que encierran estas emisiones es considerable, pues sólo en 1988 se arrojaron a la atmósfera 5500 millones de toneladas de residuos de la combustión del carbón, fundamentalmente por las naciones industrializadas responsables de las dos terceras partes, donde han ido aumentando sostenidamente a lo largo de más de 30 años.

Estudios realizados indican que la emisión anual a la atmósfera de mil millones de toneladas de CO₂ al cabo de 40 años incrementaría la temperatura global en 0.2°C.

Este mismo efecto lo provocaría una cantidad 14 veces menor de metano y en el caso de los clorofluorocarbonos (CFC) una cantidad 3200 veces menor, gases inertes empleados en la fabricación de spray, motores de refrigeración y en otros sectores industriales, capaces de destruir hasta cien mil moléculas de ozono al llegar a la atmósfera, lo anterior nos puede brindar una idea del peligro potencial de cada uno de estos gases y más aun de su acción combinada. Basta tan solo un incremento de 1°C de la temperatura promedio, para que el clima se vuelva más calido que en ningún otro momento del milenio.

Como resultado se alterarían los regímenes de precipitaciones, con graves consecuencias para la agricultura y otras actividades, en las regiones polares, donde las variaciones de la temperatura serían entre tres y cuatro veces mayores que en las latitudes medias, un incremento entre 5 y 10°C provocaría la fundición de los hielos, que elevaría gradualmente el nivel del mar, y afectaría a numerosas ciudades costeras, islas y regiones más bajas.

Los problemas mencionados, que amenazan con provocar cambios severos en el medio ambiente y el clima, plantean un reto a la humanidad, pues no existe otra opción que adoptar estrategias y medidas de respuesta, tanto en el plano nacional como internacional, antes que estos se vuelvan irreversibles.

Afortunadamente ya se está comenzando a tomar conciencia de la gravedad potencial de la situación, lo que se percibe en la cantidad creciente de organizaciones y reuniones internacionales, que abordan los problemas ambientales, como el programa de las Naciones Unidas para el medio Ambiente y el Panel Intergubernamental sobre cambios climáticos, entre otros.

En este sentido, el protocolo de Montreal de 1987, cuando 35 naciones acordaron congelar a los niveles de 1986 la producción de sustancias clorofluorocarbonos (CFC) y llamó a una reducción del 5% hacia 1998 en los países industrializados.



Capítulo 4



Panorama de la Energía Nuclear en México y en el Mundo

La conferencia mundial de Río de Janeiro, celebrada en 1992, con la aparición de más de cien jefes de estado y de gobierno y la reunión de Kyoto en 1997, marcaron un gran cambio, en la toma de conciencia y el trazado de objetivos comunes, para la conservación del medio ambiente a escala global y evitar alterar el equilibrio climático mundial.

Una fuente de energía que puede realizar un aporte sustancial en el logro de estos objetivos, es la nucleoelectricidad.

Y como ha sido reconocido ampliamente, su participación creciente en la producción mundial de energía ha contribuido a limitar las emisiones de gases nocivos y entre ellos, los gases de invernadero, confirmado mediante estudios realizados en diversos países con importante desarrollo nuclear.

En Francia, donde aproximadamente el 70% de la electricidad que se produce es de origen nuclear, se ha registrado una disminución apreciable de SO₂ y óxido nítrico. Así, mientras la capacidad Nucleoeléctrica se incrementó en cuatro veces, entre 1980 y 1986 la emisión de SO₂ en el sector de producción de energía eléctrica se redujo en 71%, lo que significó el 44% de la reducción total alcanzada en el país.

Asimismo, la emisión de óxido nítrico como resultado de la producción de electricidad, se redujo en más del 60%, y la de partículas contaminantes en un 57%. En ese periodo la nucleoelectricidad contribuyó a que no se descargaran a la atmósfera 220 millones de toneladas de CO₂, que hubiesen sido producidas si la electricidad hubiese sido generada en las centrales convencionales.

Gracias, fundamentalmente a la nucleoelectricidad, también se lograron reducciones similares de las emisiones de SO₂ en Inglaterra, Canadá, Alemania, Finlandia y Bélgica.

En las centrales nucleoelectricas, se da especial atención a todo el conjunto de medidas de seguridad que regulan su explotación, gracias a lo cual se logra la reducción hasta niveles mínimos del impacto sobre el medio ambiente. Los estudios que permanentemente se realizan sobre la situación radiológica de la región donde se emplazan las centrales nucleares, han comprobado que la concentración de gases radiactivos en la atmósfera se encuentran prácticamente a los niveles del fondo natural, contribuyendo a la conservación del medio ambiente.

Evitando así la emisión de sustancias nocivas y de gases de invernadero, además, sus sistemas, adecuadamente emplazados, construidos y mantenidos, representan menos riesgo para la población y el medio ambiente, que los basados en la combustión del petróleo o el carbón.



Capítulo 5.

5.1 Conclusiones y Recomendaciones

El uso de los recursos energéticos renovables y no renovables en México se concentra en la explotación del petróleo y sus derivados, siendo la base de la economía para todos los mexicanos.

A partir de la venta del petróleo recurso natural no renovable es de donde proviene el mayor ingreso económico, dependiendo también de este recurso el sector eléctrico debido a que la mayor parte de la demanda de energía eléctrica se cubre utilizando como fuente de generación, gas natural y los combustibles asociados.

En la actualidad el consumo energético de combustibles fósiles (carbón, gas natural, diesel y combustóleo, gasolina etc.) es insostenible la principal razón es porque los yacimientos de petróleo se están agotando aunque la única y principal razón deberían ser los graves cambios climáticos a nivel mundial debido a las emisiones contaminantes que son causa de la combustión de hidrocarburos y ponen en riesgo los ecosistemas y la vida en el planeta.

En todo el mundo se realizan acciones encausadas al mayor aprovechamiento de los recursos naturales renovables ante la preocupación provocada por el cambio climático causado por la producción de dióxido de carbono CO₂ principal tipo de contaminación atmosférica.

El calentamiento global trae como consecuencias:

- El descongelamiento de los polos
- Inundaciones
- Desertificación
- Aumento del nivel de los océanos
- Cambio radical de los ecosistemas
- Crisis en la producción de alimentos por la alteración de los patrones climáticos
- Millones de refugiados ambientales por las situaciones económicas en muchas regiones y sus consecuentes crisis sociales
- La capacidad de suministrar agua potable se vera gravemente afectada
- Enfermedades y escasez a nivel mundial

Todas estas consecuencias del calentamiento global afectan directamente el entorno la vida de las especies y su comportamiento.

La temperatura a nivel mundial cambió entre los 0.3°C y 0.6°C desde 1750 hasta finales del siglo XX, de continuar aumentando el volumen de emisiones de CO₂, la temperatura de la tierra aumentará en promedio 0.2°C en 40 años.



Conclusiones y Recomendaciones



La alternativa ante el cambio climático es cambiar hacia fuentes de energía renovables, fuentes de energía limpias que no generan residuos contaminantes que afecten los ecosistemas garantizando el cuidado del medio ambiente al generar energía, logrando lo que se conoce como desarrollo sustentable.

En la actualidad para los inversionistas del sector energético es de mayor importancia obtener altos rendimientos con menor inversión sin pensar en los elevados costos ecológicos en la desaparición de miles de especies de plantas y animales que no son capaces de adaptarse a los cambios climáticos tan adversos.

En la mayoría de los países aun no se aplican medidas de protección ambiental que obliguen al consumo de fuentes naturales de energía renovables debido a que son principalmente no contaminantes al generar escasos residuos de recursos naturales, además de que pueden ser consumidos infinitamente, generando energía eléctrica sin limitaciones, limpia y constante. No se tiene la suficiente visión a futuro ni el compromiso para lograr aprovechar el enorme potencial de generación de energía que ofrecen las fuentes renovables (viento, sol, agua, calor del subsuelo y residuos orgánicos), que se utilizan para generar los diferentes tipos de energía (eólica, solar, hidráulica, geotérmica, biomasa y oceánica) relacionados directamente con cada uno de estos recursos naturales, entre otras fuentes de energía de menor aplicación como es la energía que se puede obtener del Etanol y del gas Metano, fuentes de energía obtenidas mediante diversos procesos químicos a partir de residuos orgánicos, además de fuentes de energía que aun se encuentran en proceso de producción a gran escala como es la energía que se puede obtener del hidrogeno en estado gaseoso o liquido utilizado como combustible y la energía obtenida por fusión nuclear aún en etapa experimental que se obtiene de la unión de átomos de hidrogeno.

Todas estas fuentes de generación de energía son factibles si tomamos en cuenta que se tiene al alcance la suficiente tecnología para aprovechar la enorme cantidad de recursos renovables que posee un país como México, sabemos que los costos de implementar la tecnología con la capacidad de lograr el mayor aprovechamiento de los recursos naturales renovables en la actualidad es muy elevado, pero si tomamos en cuenta los beneficios de generar energía limpia y constante, estaremos cada vez mas cerca de comprender las bases del desarrollo sustentable

Es entonces cuando nos preguntamos ¿Qué tipo de tecnología es mejor implementar en México para la optimización de los recursos energéticos?

Los recursos energéticos no renovables utilizados para la generación de energía se están agotando, deberán ser remplazados por fuentes de generación renovables a largo plazo, tomando en cuenta la escasez de combustibles debido a la mayor dificultad de extracción en aguas profundas del golfo de México, además de los cada vez mas escasos yacimientos de petróleo en tierra, subiendo considerablemente los precios de todos los derivados del petróleo, como son gas natural, combustóleo diesel gasolina etc.



Conclusiones y Recomendaciones



Será necesario utilizar fuentes de generación de energía renovables, que garanticen la conservación de los ecosistemas y la vida sobre la tierra.

En los países en vías de desarrollo en todo el mundo se presenta una situación aún más grave debido a que empieza a escasear la principal fuente de energía el carbón y la leña productos de la Biomasa, que se emplean para uso domestico y producción de alimentos. El sector energético en México se encuentra bajo un proceso de reestructuración hacia una elevada eficiencia energética, razón por la cual se impulsa la utilización de energías renovables y la repotenciación de las centrales generadoras existentes mediante la implementación de plantas de ciclo combinado que realizan un reciclado de energía generada.

La agricultura con ayuda de la tecnología deberá lograr un mayor desarrollo sustentable, para no tener que enfrentarse con una masiva emigración a los centros urbanos.

El Consejo Mundial de la Energía (CME), analizando la demanda energética a nivel mundial impulsa la implementación de centrales que utilicen como fuentes de generación, energías renovables ayudando en la toma de decisiones para un futuro sustentable.

Tomando en cuenta todo lo anterior cabe considerar que la energía nuclear de implementarse adecuadamente puede ser la respuesta a una forma de generación de energía que cuide el medio ambiente debido a que los residuos radiactivos se confinan en completo aislamiento del medio ambiente natural protegiendo los ecosistemas y la vida en el planeta porque con esto no se afecta la biodiversidad y se cuida al mismo tiempo de no ocasionar el grave cambio climático que afecta cada vez más el equilibrio ecológico.

Ante la creciente demanda de energía eléctrica en todo el mundo y como única forma de lograr el progreso en los diferentes sectores económicos, la energía nuclear retoma importancia ante la demanda de plantas de generación de energía eléctrica a gran escala que garanticen el suficiente abastecimiento eléctrico.

Se considera la energía nuclear como una opción viable, debido en gran parte, a la abundancia de combustibles nucleares, a la fabricación de nuevo combustible nuclear, a la cada vez menor producción de desechos radiactivos en base a los modernos tratamientos de reducción de actividad de los materiales y substancias utilizados en la generación de energía eléctrica.

La energía nuclear avanza cada día implementando moderna tecnología ante los temas de mayor preocupación, como son prevención de accidentes nucleares, así como el correcto almacenamiento de la menor cantidad de residuos radiactivos.



Conclusiones y Recomendaciones



Los nuevos avances en materia de lo nuclear incluyen lo siguiente:

1. Mayores y continuos avances en la tecnología de los reactores nucleares, aumentando día con día, la investigación de muchas naciones logrando el incremento en la producción de mejor y más eficiente tecnología nuclear.
2. Aumento considerable en la capacidad de generación de energía eléctrica en los reactores de tercera generación plus y avanzados, disminuyendo el numero de recargas en el reactor y aumentando la vida útil de la central nuclear.
3. Récord sólido y acumulado de seguridad de funcionamiento en las modernas centrales nucleoelectricas, respaldado por el surgimiento de una cultura de seguridad nuclear.
4. Avances en materia de confinamiento de residuos radiactivos implementando conceptos científicamente probados de eliminación de desechos radiactivos, utilizando depósitos geológicos lo suficientemente profundos, como para no presentarse ningún tipo de contingencia ambiental durante miles de años.
5. Expansiva planificación del crecimiento de la energía nuclear en las principales naciones, tanto en el mundo desarrollado como en el mundo en desarrollo.

Existe una gran cantidad de países en vías de desarrollo y algunos países desarrollados muy conservadores, que empiezan a considerar seriamente la utilización de la energía nuclear.

El cada vez mayor valor de la energía nuclear confirmado por los países más industrializados del mundo desde E.U. en América del Norte, hasta la mayor parte de países Europeos entre ellos Francia y Reino Unido, además de los países líderes de Asia como son, Japón China Taiwán y Rusia, confirman la importancia de la energía nuclear como medio indispensable en el desarrollo de la economía mundial.

Algunos países importantes sin energía nuclear como Polonia, Turquía, Indonesia y Vietnam se encuentran muy cerca de implementar la energía nuclear por primera vez, Italia uno de los principales importadores de energía eléctrica a nivel mundial siendo el único país en el mundo que ha suspendido la generación eléctrica mediante energía nuclear vuelve a reconsiderar su implementación, además de esto Australia país con las mayores reservas de uranio a nivel mundial ha comenzado un debate nacional sobre su necesidad y obligación medioambiental de utilizar la energía nuclear.

La energía de origen nuclear es utilizada como fuente de generación de energía eléctrica a gran escala esto se observa principalmente en países con escasas fuentes naturales de generación de electricidad, como es el Norte de Europa y Asia, cubriendo una gran parte de las necesidades de la demanda energética considerada como demanda base.

A pesar de esto aún existen países con ideas conservadoras ante el uso de la energía nuclear siendo partícipes de los mitos que propagan muchos de los grupos ambientalistas, basados en las suposiciones de periodistas y burócratas.



Pero todas estas fuerzas reaccionarias tomadas en su conjunto, están disminuyendo bajo la avalancha de hechos que son demasiado fuertes para ser eternamente distorsionados o negados. En el mundo entero, el ecologismo antinuclear de la vieja escuela está siendo eclipsado por un nuevo realismo que reconoce la virtud esencial de la energía nuclear, su capacidad de proveer energía generada en forma limpia, segura, confiable, y en grandes cantidades.

Para la industria nuclear esta perspectiva expansiva ofrece un futuro promisorio. Pero para los ambientalistas serios, las proyecciones pueden proveer poco consuelo, no porque la energía nuclear esté creciendo, sino porque aún no está creciendo lo suficientemente rápido como para destacar por ser la energía limpia que el mundo tanto necesita.

El imperativo urgente de una revolución mundial de energía limpia es evidente para cualquier persona culta que no está en un estado de negación psicológica o política. La combustión de los combustibles fósiles está vertiendo dióxido de carbono en la atmósfera a una tasa de 25.000 millones de toneladas por año (800 toneladas por segundo) y este ritmo aún no ha sido disminuido.

No se puede lograr una revolución de energía limpia mundial sin una enorme expansión de la energía nuclear. Se considera que la única esperanza para evitar esta calamidad es disminuir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI) en 50-60% en los próximos 50 años. Y esto debe lograrse junto con un enorme aumento de la población humana y del desarrollo económico que triplicará el consumo energético mundial. El punto de partida para la acción debe ser un acuerdo sobre la premisa básica que surge de todos los análisis autorizados: no se puede lograr una revolución de energía limpia mundial sin una enorme expansión de la energía nuclear, para generar electricidad, para producir hidrógeno para los vehículos del mañana y para desalinizar el agua de mar en respuesta a la crisis mundial del agua dulce que surgirá rápidamente. Una evaluación justa de las preocupaciones públicas a menudo citada en los medios, muestra que ninguna plantea un obstáculo razonable para la expansión mundial de la energía nuclear.

Sigue siendo una preocupación mundial y se puede decir mucho acerca del mejor modo de tratar con las pocas naciones deshonestas que pueden construir instalaciones capaces de producir material utilizable para la fabricación de armas atómicas. La industria está preparada para trabajar con la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) y con los gobiernos nacionales, para explorar modos de reducir este riesgo. Pero las verdades esenciales son que el daño de la proliferación es inherente en el conocimiento nuclear, pero depende de la intención de los gobiernos; el sistema mundial de no-proliferación y de salvaguardas reduce efectivamente cualquier vínculo entre los programas civiles y militares, y ayuda a detectar e impedir la actividad nuclear ilícita; y cualquier riesgo de proliferación no estaría afectado incluso por un aumento de veinte veces en el uso mundial de reactores nucleares protegidos para producir energía limpia.



Conclusiones y Recomendaciones



La industria ha satisfecho el desafío de la seguridad de funcionamiento mediante avances tecnológicos y una cultura mundial de seguridad nuclear que aprovecha la experiencia práctica de 12,000 años-reactor. Del mismo modo en que el Tratado de No proliferación nuclear es una gran hazaña en la diplomacia tradicional, la creación de la Asociación Mundial de Operadores Nucleares (WANO) –con su red de cooperación de seguridad que abarca a todos los reactores de energía en el mundo entero representa un logro histórico en la diplomacia del sector privado. La mayor responsabilidad de la industria nuclear es mantener su ya impresionante récord de seguridad.

Las ganancias generadas están teniendo lugar incluso sin considerar los efectos medioambientales. Una vez que los gobiernos comiencen a introducir serias multas a las emisiones, mediante el comercio de emisiones o los impuestos al carbono el equilibrio se inclinará aún más rápido. Actualmente, la energía nuclear puede dominar fácilmente cualquier mercado que impone un precio real al daño medioambiental.

La industria y los gobiernos tienen la tarea conjunta de crear reconocimiento público de que, contrariamente a lo que se percibe comúnmente, los desechos son el mayor activo comparativo de la energía nuclear precisamente porque el volumen es mínimo y puede manejarse en forma segura sin dañar a la gente o al medio ambiente. Por su parte, la industria ha acumulado un récord impresionante que incluye: eliminación segura de todos los residuos de bajo nivel; almacenamiento provisional seguro de todos los otros productos finales desde casi medio siglo de funcionamiento de las centrales nucleares; y transporte seguro de desechos radioactivos, con más de 20,000 contenedores de desechos de alto nivel y combustible usado que han viajado en forma segura a lo largo de una distancia total de 20 millones de millas sin un escape radioactivo grave. La mayor responsabilidad recae ahora en los gobiernos. Un fuerte consenso científico favorece los depósitos geológicos profundos como un modo seguro y asequible de lograr el almacenamiento a largo plazo de los residuos nucleares y del combustible nuclear usado. Es obligación de los gobiernos, siguiendo el ejemplo de Finlandia, Suecia, Rusia y los EE.UU. reunir la intención política para implementar este componente crucial del ciclo de combustible nuclear.

Es necesario ocuparse de las preocupaciones públicas acerca de la energía nuclear, pero no casi suficiente para impulsar un renacimiento nuclear que debe alcanzar el dinamismo mundial si es que se debe lograr la revolución de la energía limpia. En tres áreas diferentes, los gobiernos deben emprender una acción decisiva para desarrollar una industria que está, en cuanto a madurez operativa y tecnológica completamente preparada para el considerable crecimiento que requiere el desafío medioambiental. La primera necesidad es avanzar más allá del Protocolo de Kyoto sobre el cambio climático para construir un régimen climático a largo plazo realmente abarcador, que provea fuertes señales políticas junto con incentivos económicos para una transformación mundial hacia la tecnología de energía limpia. Para ser efectivo y políticamente factible, cualquier tratado de ese tipo debe incluir a todas las naciones principales, desarrolladas y en desarrollo, y debe plasmar alguna variación sobre el principio de contracción y convergencia.



Conclusiones y Recomendaciones



El término de Contracción quiere decir que el acuerdo debe producir, a lo largo del espacio de unas décadas, una reducción mundial en las emisiones de GEI de alrededor del 60%. Convergencia significa que el acuerdo debe adoptar el principio de igualdad de derechos de emisión per cápita. Como parte de la realidad política, es el único principio factible para un acuerdo mundial e involucra una concesión del sur al norte por la aceptación del considerable daño medioambiental ya realizado por los países desarrollados.

Además, la brecha entre las emisiones reales y los derechos de emisión proveen el potencial para un mecanismo de comercio internacional dinámico que promoverá eficiencia universal en inversión de energía limpia, a la vez que producirá un gran flujo neto de tal inversión del norte al sur.

Los gobiernos deben emprender una acción decisiva para desarrollar una industria que está completamente preparada para el considerable crecimiento que requiere el desafío medioambiental. Desde el punto de vista del norte, esta asistencia económica será la más rentable en la historia si ayuda a impedir el crecimiento mundialmente destructivo de las emisiones de GEI que de otro modo podrían tener lugar en el mundo en desarrollo. Durante años, los economistas han desarrollado modelos de maximización del bienestar de ganar-ganar entre las partes con características muy diferentes. Ahora un régimen mundial de cambio climático debe aplicar este conjunto de enseñanzas para producir una acción colectiva que apunte al desafío de seguridad energética más peligroso jamás enfrentado por la humanidad:

La segunda necesidad es determinar las políticas nacionales y las instituciones internacionales para apoyar directamente la inversión nuclear. En el largo plazo, la energía nuclear es competitiva. Pero hay otros dos factores que se contraponen a la inversión nuclear: el sesgo de corto plazo de los mercados energéticos no regulados y el hecho de que no se han construido suficientes reactores nucleares en el siglo XXI como para lograr economías de escala.

Como un paso más hacia la independencia energética y como un imperativo medioambiental urgente, los gobiernos deben tomar medidas para incentivar las inversiones nucleares inmediatas. Esta reactivación de la economía puede lograrse mediante un subsidio temporal a la producción, absorbiendo algunos costos de ingeniería nuevos en su tipo, o simplemente redistribuyendo estos costos desde los pioneros hasta los que los siguen.

Entre las herramientas que pueden utilizarse se encuentran garantías de préstamos, depreciación acelerada y créditos fiscales a la producción y la inversión. Durante la última década, dichas herramientas han sido ampliamente utilizadas para subsidiar las energías renovables. Ahora es el momento de aplicar estas mismas herramientas a una tecnología que pueda proveer energía limpia a gran escala. El objetivo no es subsidiar las operaciones nucleares a largo plazo, sino acelerar el renacimiento nuclear por razones de interés nacional y de protección del medio ambiente.



Conclusiones y Recomendaciones



El mismo fundamento se aplica, internacionalmente, en las instituciones mundiales establecidas hace medio siglo para abordar las urgentes necesidades de desarrollo. Es una problemática del sistema de la ONU que, en esta coyuntura crucial, todas sus principales instituciones de desarrollo continúen incluyendo o sigan siendo intimidadas por una defensa del medio ambiente antinuclear de la vieja escuela.

La IAEA está aislada y sola trabajando para promover los usos pacíficos de la energía nuclear. Mientras se intensifica una crisis mundial sin precedentes, otros se encierran en su seguro mundo de fantasía de la corrección política. Los gobiernos deben ordenarle al Banco Mundial y a los Programas de Desarrollo y Medio Ambiente de la ONU que actúen en busca de una visión de energía limpia en la cual la energía nuclear juegue un rol principal.

Un tercer imperativo sobre el cual deben actuar los gobiernos es aplicar el concepto de inversión nuclear al ámbito humano: estimulando y apoyando la participación en el estudio de la ciencia y la tecnología nuclear.

La profesión nuclear debe estar preparada para un siglo nuclear. Existe una enorme disparidad entre el renacimiento nuclear en desarrollo y el ritmo en el cual se está formando una nueva generación de científicos e ingenieros nucleares.

Finalmente, las fuerzas del mercado rectificarán esta disparidad entre la oferta y la demanda de personal nuclear calificado. Pero si no se es pro activo en la estimulación de la educación nuclear, la corrección será ineficiente y se retrasará el renacimiento nuclear. Para ayudar a señalar el camino hacia una profesión nuclear internacional, la Asociación Nuclear Mundial ha trabajado con la IAEA, WANO y la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE para crear la Universidad Nuclear Mundial (WNU). Los objetivos de asociación de la WNU con las principales instituciones mundiales de enseñanza nuclear son:

- Aumentar el trabajo del curso académico sobre temas nucleares en las instituciones participantes en todo el mundo
- Establecer estándares mundiales ampliamente aceptados en la capacidad académica y profesional
- Elevar el prestigio de la profesión nuclear

La tecnología está estimulando un crecimiento en la población mundial y un consumo de energía que ponen en peligro el futuro del planeta. Pero la ingenuidad tecnológica que está propulsando una crisis mundial también puede ser nuestra salvación. La industria nuclear mundial es el repositorio de una tecnología que será indispensable para que la humanidad preserve el medio ambiente que permitió la evolución de la civilización.



Conclusiones y Recomendaciones



Los gobiernos deben salir de las posturas de timidez y ambigüedad para actuar decididamente en apoyo de esa industria. El Consejo Mundial de la Energía (CME) ha recalcado que los responsables de las políticas mundiales deben mantener abiertas todas las opciones energéticas. Referencia, en parte, a las naciones soberanas que eligen privarse de la opción nuclear. Nuestro sector debería ser cauto en relación a varios asuntos:

- Descartar nuestras críticas, lo hicimos en el pasado y nos causó mucho daño
- Promover en forma exagerada una tecnología por encima de las otras
- Basar nuestros argumentos en puntos de vista extremos exagerados
- Oponer un combustible, o una tecnología, a otros
- Reconocer que algunos países no serán adecuados para adoptar ciertas tecnologías

Estas consideraciones se aplican al tratarse de las instalaciones de gas natural licuado (GNL), tecnologías de hidrógeno y ciclo combinado con gasificación integrada (IGCC), eólica y, sí, generación nuclear. Se asume que al avanzar, se requiere todo volumen de recursos energéticos proveniente de cualquier fuente posible, incluso mayor eficiencia energética. Las acciones del gobierno, incluyendo los incentivos, deberían aplicarse a todas las tecnologías y a todas las fuentes de combustible y deberían dejar que el mercado, y no el gobierno, elija cuáles son las ganadoras y cuáles las perdedoras.

El sector energético nacional no está suficientemente diversificado y es dependiente de la industria petrolera.

Para que esta situación no permanezca se requiere que apliquen algunas reformas entre ellas caben destacar:

- Permitir generar electricidad por cualquier medio a cualquier particular
- Preservar a la CFE como organismo distribuidor de electricidad
- Abrir nuevas plazas a ingenieros mexicanos tanto en PEMEX como en CFE
- Ampliar las fuentes de energía renovable y nuclear.

Es en este último mencionado es donde hay que enfocarse ya que de alguna u otra manera los recursos no renovables, algún día se extinguirán y habrá que echar mano de los renovables. Para el aspecto nacional, hace énfasis en lo que se genera actualmente y en la capacidad que se tiene en cuanto a los energéticos con los que México cuenta. De igual modo, habrá que hacer conciencia de que va a llegar el momento, en un futuro no muy lejano, en donde se tenga que implementar otro tipo de energía debido a que se están acabando las fuentes no renovables.

No es nada más la carencia de agua o el padecimiento del cambio climático, o en un momento determinado el impacto económico. Es más allá de estas situaciones. Es realmente considerar que existen otras opciones, otros tipos de energéticos, de energías renovables las cuales no se han aprovechado como se debiera, se están agotando los recursos no renovables y después de esto, se va a tener desempleo y tecnología obsoleta.



Conclusiones y Recomendaciones

Es necesario retomar y considerar la implementación de tecnologías que permitan considerar los recursos renovables, tales como: la solar, el viento (eólica) principalmente e hidráulica. En el ámbito mundial, se observa que las grandes potencias están invirtiendo en la generación de energía eólica, tal es el caso de algunos países de Europa.

México, debe hacer conciencia, desprenderse en mucho del paternalismo, permitir la inversión extranjera si es que no tiene la infraestructura para invertir, o bien exhortar a los inversionistas a invertir, pero en tecnología diferente, y aprovechar más y mejor los recursos renovables, cuidar más los que no lo son: la madera, los lagos, los bosques. Si bien es cierto la economía de México depende principalmente del petróleo, pero no es lo único que se tiene.

Se cuenta con lugares excelentes en cuestión de aire, y hay inversionistas extranjeros que lo están aprovechando, ejemplos como la Venta II. El planeta está pidiendo ayuda, es hora de que se madure, y se dé un giro positivo, tanto al medio ambiente como a la economía.

En México al igual que en el mundo, el porcentaje del uso de combustibles fósiles para generar energía eléctrica es cada vez mayor. Este panorama será el mismo por lo menos en un periodo de 10 a 20 años en el que la construcción de plantas de ciclo combinado que consumen gas natural, será el preferido en muchos países del mundo incluido México, la razón principal es su bajo costo de inversión.

Sin embargo, a pesar de los elevados costos de inversión para plantas nucleares, el costo total de generación de energía eléctrica tenderá a igualarse entre las plantas de ciclo combinado y plantas nucleares, principalmente por el aumento de los precios del gas y la disminución de los costos de inversión para plantas nucleares. En México, los costos de generación para este tipo de plantas ya son equiparables.

Además los crecientes problemas ambientales (cambio climático) y daños a la salud, debido a los gases de efecto invernadero que producen las plantas termoeléctricas que consumen combustibles fósiles, han hecho que organismos internacionales quieran agregar costos a este tipo de plantas por tales conceptos, para que dentro de sus costos de generación consideren el tratamiento adecuado de estos gases y disminuya con ello estos problemas.

Por estas razones todo apunta a un aumento de los costos de generación para plantas termoeléctricas que utilizan combustibles fósiles, mientras que los costos de generación para plantas nucleoelectricas parecen no estar sujetos a aumentos drásticos a causa de costos externos, debido a productos contaminantes, ya que éstos ya son incluidos en cada uno de los componentes del costo, inversión, combustible, operación y mantenimiento. Todas las plantas de generación de electricidad, aun las que utilizan recursos renovables como las hidroeléctricas, solares, eólicas, producen algún tipo de trastorno ambiental, en el lugar en el que son instaladas. Además de que todas presentan ventajas y desventajas con respecto a las demás.



Conclusiones y Recomendaciones



Al construir una central nucleoelectrica se puede tener una mayor diversidad del tipo de centrales para generar electricidad en México, esto ayudaría económicamente, ya que al no depender en gran porcentaje de una sola tecnología, se podría generar el mayor porcentaje de energía eléctrica que necesite el país con las plantas que en su momento tengan el costo de generación total más bajo y utilizar en menor proporción y como margen de reserva a las plantas más caras. Del buen aprovechamiento de los recursos con los que cuenta México para generar energía eléctrica, dependerá que el país se desarrolle de manera sustentable.

Teniendo en cuenta estos aspectos y para no proponer un sitio en el cual ya exista, o se piense, construir una central de generación de electricidad. Para la delimitación final de la planta es conveniente tomar en cuenta, la cercanía con las líneas de transmisión existentes para que el costo de inversión no aumente mucho por la instalación de las mismas, los derechos de vía, entre otros aspectos, para que su instalación sea óptima, viable y lo menos costosa posible.

México es un país privilegiado y cuenta prácticamente con todos los recursos naturales para satisfacer cualquier tipo de tecnología correspondiente a las plantas de generación. Sin embargo se tienen limitantes técnicas y de recursos, que hace que la construcción de algunas centrales sea difícil. No obstante la construcción de una central nucleoelectrica en el estado de Tamaulipas, es una buena opción, ya que el ubicar la central en este estado tiene ventajas tanto técnicas, demográficas, geográficas y económicas sobre otros estados de la Republica Mexicana.

De lo anterior, tenemos que Tamaulipas es el estado más viable para construir una central nucleoelectrica en el país, ya que es un estado que tendrá un incremento de población importante, que se traduce en un incremento de la demanda de energía. Es un estado que aunque se encuentra en zona de explotación petrolera, demandará cada vez mayor energía eléctrica siendo el abasto de combustible insuficiente y se deberá pensar en construir otro tipo de plantas de generación de energía eléctrica, que no requieran de hidrocarburos, siendo preciso desde ahora dejar de depender poco a poco del petróleo y optar por recursos naturales que sirvan como combustible a plantas de generación que satisfagan demanda base, por otra parte Tamaulipas se encuentra en una zona con poca actividad sísmica, cuenta con una extensión considerable de costa y existen pocas plantas de generación en comparación con la cada vez mayor demanda energética.

Además de todo esto Tamaulipas se encuentra más cerca de los Estados Unidos de América, lo que hace de Tamaulipas una zona con expectativas de desarrollo en todos sentidos. Por otra parte la temperatura promedio anual del mar va disminuyendo a medida que aumenta la latitud, por lo que debe preferirse una costa que se encuentre más al norte de la Republica Mexicana. Una baja temperatura del agua de mar favorece el rendimiento térmico de una planta nucleoelectrica.



5.1 Bibliografía

- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales,
Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)
Servicio Sismológico Nacional, Instituto de Geofísica de la UNAM.
Flores Palma Miguel A. y Martínez Salazar Manuel, Geografía de México, Oxford University Press, México, 2009.
Aguayo Quezada, Sergio, El Almanaque Mexicano, Ed. Proceso/Grijalbo, México, 2009.
Baptista L. P., Fernández C. C., Hernández S. R. (2009).
Metodología de la Investigación. (4ta. Ed.), McGraw-Hill Interamericana. México.
Carruso F. G. Abastecimiento Mundial de Energía y el Mercado de Estados Unidos, (2009).
Web:<http://usinfo.state.gov/journals/ites/0504/ijes/caruso.htm#top>.
Consejo Mundial de la Energía (CME) (2009).
http://www.cacme.org.ar/wec/World_Energy_in_2009.pdf.
Comisión Federal de Electricidad (CFE). Generación de Electricidad.
<http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/generacionelectricidad/>.
Comisión Federal de Electricidad (CFE). Generación de Electricidad Laguna verde.
<http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/generacionelectricidad/nucleoelectlagverde>.
Comisión Federal de Electricidad (CFE). Generación de Electricidad termoeléctrica.
Disponible:<http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/generacionelectricidad/termoelectrica/>.
Comisión Federal de Electricidad (CFE). Generación de Electricidad Hidroeléctrica.
Disponible:<http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/generacionelectricidad/hidroelectrica/>.
Comisión Federal de Electricidad (CFE). Generación de Electricidad Eoeléctrica.
<http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/generacionelectricidad/eoelectrica/>.
Comisión Federal de Electricidad (CFE). Generación de Electricidad Eoeléctrica La Venta.
<http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/generacionelectricidad/visitasvirtuales/laventaeeoeloelectrica/>.
Dirección General de Planeación Energética. (2009). Prospectiva del sector eléctrico 2006-2015.
http://portal.energia.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pub/prospsectelec2009.pdf.
Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, SD.
Convenciones y Acuerdos Ambientales.
<http://www.fao.org/sd/SPdirect/EPre0036.htm>. Consultado 2009.
Padilla y S. R. J. (2005). Vulnerabilidad Energética de México.
http://www.ai.org.mx/IIcongreso_ai/memorias/4vulnerabilidad.PDF.
International Atomic Energy Agency (IAEA) – Agencia Internacional de Energía Atómica_2009.
World Nuclear Association (WNA) – Asociación Nuclear Mundial_2009



Lista de figuras

Introducción Figura 1 Porcentaje y capacidad de generación de energía eléctrica en México	2
Introducción Figura 2 Porcentaje de generación de energía eléctrica por tipo de fuente	3
Capítulo 1 Figura 1 Central Nucleoeléctrica Laguna Verde	17
Capítulo 2 Figura 1 Conversión de energía en una central termoeléctrica convencional	37
Capítulo 2 Figura 2 Diagrama de una central termoeléctrica tipo vapor	38
Capítulo 2 Figura 3 Diagrama de una central carboeléctrica	39
Capítulo 2 Figura 4 Diagrama de una central de generación de energía eléctrica por combustión interna convencional	40
Capítulo 2 Figura 5 Diagrama de una central termoeléctrica tipo turbogás	41
Capítulo 2 Figura 6 Diagrama de una planta de ciclo combinado	43
Capítulo 2 Figura 7 Diagrama de una central nucleoeléctrica tipo (reactor de agua a presión - PWR)	47
Capítulo 3 Figura 1 Diagrama de una central hidroeléctrica	53
Capítulo 3 Figura 2 Diagrama de una central geotermoeléctrica	57
Capítulo 3 Figura 3 Diagrama de una central eólica	63
Capítulo 3 Figura 7 Colector solar	69
Capítulo 3 Figura 4 Diagrama de una central termosolar tipo torre central	71
Capítulo 4 Figura 1 Porcentaje de generación de energía eléctrica producida por energía nuclear en los países que cuentan con plantas nucleoeléctricas	86
Capítulo 4 Figura 2 Número de reactores en operación	87
Capítulo 4 Figura 3 Suma de la capacidad nuclear instalada hasta mayo del 2009	87
Capítulo 4 Figura 4 Países con reactores nucleares en construcción hasta mayo del 2009	88
Capítulo 4 Figura 5 Potencia eléctrica esperada en países con reactores nucleares en construcción	88
Capítulo 4 Figura 6 Países que han ordenado la construcción de reactores nucleares de potencia	89
Capítulo 4 Figura 7 Potencia esperada en reactores nucleares ordenados para su Construcción	89
Capítulo 4 Figura 8: Países con reactores nucleares propuestos para su construcción	90
Capítulo 4 Figura 9 Potencia esperada en reactores nucleares propuestos para su construcción	90
Capítulo 4 Figura 10 Principales tipos de fuentes de generación de energía eléctrica a nivel mundial	92
Capítulo 4 Figura 11 Principales tipos de fuentes de generación de energía eléctrica a nivel mundial	93
Capítulo 4 Figura 12 Principales tipos de fuentes de generación de energía eléctrica a nivel mundial	94
Capítulo 4 Figura 13 Principales tipos de fuentes de generación de energía eléctrica a nivel mundial proyección hasta el año 2020	95
Capítulo 4 Figura 14 Capacidad efectiva y porcentaje de generación por tipo de tecnología instalada al mes de mayo del 2009	97
Capítulo 4 Figura 15 Capacidad efectiva instalada en México	98
Capítulo 4 Figura 16 Porcentaje de energía eléctrica generada por tipo de fuente	99
Capítulo 4 Figura 17 Capacidad efectiva instalada por LyFC	100
Capítulo 4 Figura 18 Participación del sector eléctrico privado en la generación de energía eléctrica	102



Figuras



Capítulo 4 Figura 19 Porcentaje de participación del sector energético privado en la generación de energía eléctrica en México	104
Capítulo 4 Figura 20 Porcentaje de cobertura del sistema eléctrico nacional hasta el 2008	105
Capítulo 4 Figura 21 Expectativas de expansión del Sistema Eléctrico Nacional mediante proyectos de generación de energía eléctrica a corto mediano y largo plazo	106
Capítulo 4 Figura 22 Capacidad adicional comprometida y proyectos de construcción libres	109
Capítulo 4 Figura 23 Capacidad adicional comprometida por tipo de fuente de generación	110
Capítulo 4 Figura 24 Porcentaje de energía eléctrica esperada por tipo de tecnología utilizada	111
Capítulo 4 Figura 25 Diagrama de un sistema eléctrico de potencia, generación hidroeléctrica	113
Capítulo 4 Figura 26 Aumento del número de habitantes hasta el año 2030	114
Capítulo 4 Figura 27 Porcentaje esperado de incremento de carga eléctrica en México	115
Capítulo 4 Figura 28 Estados del norte con aumento de carga eléctrica	116
Capítulo 4 Figura 29 Estados del centro con aumento de carga eléctrica	117
Capítulo 4 Figura 30 Estados costeros del océano pacifico con aumento de carga eléctrica	118
Capítulo 4 Figura 31 Estados costeros del golfo de México con aumento de carga eléctrica	119
Capítulo 4 Figura 32 Estados de la republica mexicana con menor aumento de carga eléctrica	120
Capítulo 4 Figura 33 Estados del norte de la republica mexicana con mayor aumento de carga eléctrica	121
Capítulo 4 Figura 34 Estados del centro de la republica mexicana con mayor aumento de carga eléctrica	122
Capítulo 4 Figura 35 Estados costeros del océano pacifico con mayor aumento de carga eléctrica	123
Capítulo 4 Figura 36 Estados costeros del océano atlántico y golfo de México con mayor aumento de carga eléctrica	124
Capítulo 4 Figura 37 Estados de la republica mexicana con mayor aumento de carga eléctrica	125
Capítulo 4 Figura 38 Estados costeros de la republica mexicana	129
Capítulo 4 Figura 39 Estados costeros con bajas expectativas de crecimiento	130
Capítulo 4 Figura 40 Estados Costeros con altas expectativas de crecimiento	131
Capítulo 4 Figura 41 Efecto invernadero y calentamiento global	141
Capítulo 4 Figura 42 Producción de CO2 y otros contaminantes a nivel mundial	143



Lista de tablas

Capítulo 1 Tabla 1 Características principales de los diferentes tipos de reactores base	22
Capítulo 1 Tabla 2 Reactores de tercera generación o avanzados	26,27
Capítulo 3 Tabla 1 Fuentes de energías renovables	50
Capítulo 3 Tabla 2 Fuentes de energía de menor aplicación y experimentales	51
Capítulo 3 Tabla 3 Recurso hidroeléctrico en México	56
Capítulo 3 Tabla 4 Porcentaje de recurso hidroeléctrico en México	56
Capítulo 3 Tabla 5 Potencial de biomasa en los estados de la República Mexicana	83
Capítulo 4 Tabla 1 Capacidad efectiva instalada y generación de energía eléctrica total en México	98
Capítulo 4 Tabla 2 Capacidad efectiva instalada en MW por tipo de tecnología de generación al mes de mayo de 2009	98
Capítulo 4 Tabla 3 porcentaje por tipo de fuente de generación al mes de diciembre de 2008	99
Capítulo 4 Tabla 4 Capacidad instalada y porcentajes de capacidad de generación de LyFC en México	100
Capítulo 4 Tabla 5 Participación de productores independientes de energía	103
Capítulo 4 Tabla 6 Capacidad adicional comprometida por tipo de tecnología utilizada	109
Capítulo 4 Tabla 7 Regiones productoras de hidrocarburos en México	136



Lista de mapas

Capítulo 3 Mapa 1 Riqueza geotérmica en México	58
Capítulo 3 Mapa 2 Localización de los principales campos geotérmicos en México	59
Capítulo 3 Mapa 3 Potencial eólico en México	65
Capítulo 3 Mapa 4 Regiones de mayor potencial eólico en México	66
Capítulo 3 Mapa 5 Radiación solar horizontal total por año	72
Capítulo 4 Mapa 1 Aumento de habitantes en México esperado hasta el año 2030	115
Capítulo 4 Mapa 2 Densidad de población en el norte de México	116
Capítulo 4 Mapa 3 Densidad de población en el centro de México	117
Capítulo 4 Mapa 4 Densidad de población en zonas costeras del océano pacifico de México	118
Capítulo 4 Mapa 5 Densidad de población en zonas costeras del océano atlántico y golfo de México	119
Capítulo 4 Mapa 6 Estados con menor densidad de población en México	120
Capítulo 4 Mapa 7 Estados del norte de la republica mexicana con mayor densidad de población en México	121
Capítulo 4 Mapa 8 Estados del centro de la republica mexicana con mayor densidad de población en México	122
Capítulo 4 Mapa 9 Mayor densidad de población en zonas costeras del océano pacifico de México	123
Capítulo 4 Mapa 10 Mayor densidad de población en zonas costeras del océano atlántico y Golfo de México	124
Capítulo 4 Mapa 11 Estados con mayor densidad de población en México	125
Capítulo 4 Mapa 12 Principales ríos en México	128
Capítulo 4 Mapa 13 Crecimiento de población esperado hasta el año 2030 en México	130
Capítulo 4 Mapa 14 Estados costeros con bajas expectativas de crecimiento	131
Capítulo 4 Mapa 15 Estados Costeros con altas expectativas de crecimiento	132
Capítulo 4 Mapa 16 Principales estados de la republica mexicana con alto riesgo sísmico	133
Capítulo 4 Mapa 17 Regiones de mayor radiación solar en México	135
Capítulo 4 Mapa 18 Regiones de México con recursos forestales importantes	135
Capítulo 4 Mapa 19 Principales estados productores de hidrocarburos en México	136
Capítulo 4 Mapa 20 Principales centrales de generación en México	137
Capítulo 4 Mapa 21 Principales centrales de generación en México	138
Capítulo 4 Mapa 22 Región costera adecuada para la construcción de una central nucleoelectrica	140



Lista de acrónimos

ADS	Automatic Depressurization System
ALARA	As Low As Reasonable Achievable
AVR	Arbeitsgemeinschaft Versuchsreactor
BWR	Boiling Water Reactor
CCCM	Canadian Climate Center Model
CENAPRED	Centro Nacional de Prevención de Desastres
CFC's	Clorofluorocarbonos
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CIN	Comité Intergubernamental de Negociación
CNA	Comisión Nacional del Agua
CNLV	Central Nucleoeléctrica Laguna Verde
CNSNS	Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias
COPERE	Comité de Planeación de Emergencias Radiológicas Externas
DGPC	Dirección General de Protección Civil
GCR	Gas Cooled Reactor
GEI's	Gases de Efecto Invernadero
GEV	Gobierno del Estado de Veracruz
HICS	Helium Inventory Control Sistem
HPCS	High Pressure Cooling System
HTGR	High Temperatura Gas Reactor
HTR	High Temperatura Reactor
IAEA	Internacional Atomic Energy Agency
ININ	Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares
INPO	Institute of Nuclear Power Operations
LyFC	Luz y Fuerza del Centro
LMFBR	Liquid Metal Fast Breeder Reactor
LPCI	Low Pressure Cooling Injection
LPCS	Low Pressure Cooling System
LPTU	Low Pressure Turbo Unit
LWR	Light Water Reactor
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OIEA	Organismo Internacional de Energía Atómica
PHWR	Pressurized Heavy Water Reactor
PIB	Producto Interno Bruto
ppm	Partes por millón
PWR	Pressurized Water Reactor
RHR	Residual Heat Removal
SCRAM	Safety Control Rod Automatic Motion
SCT	Secretaria de Comunicaciones y Transportes
SEGOB	Secretaria de Gobernación
SEMARNAT	Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
SENER	Secretaria de Energía
WANO	World Association of Nuclear Operators
WNA	World Nuclear Association